

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Bakalářská práce

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Optický časoměrný systém s bezdrátovým
přenosem
Optical Timekeeping Wireless System

Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Lazar**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: Opticky časoměrný systém s bezdrátovým přenosem
Optical Timekeeping Wireless System

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor metod optického měření časových intervalů.
2. Metody bezdrátového přenosu dat.
3. Návrh konceptu řešení optického časoměrného systému s bezdrátovým přenosem.
4. Realizace návrhu optického časoměrného systému s bezdrátovým přenosem.
5. Verifikace a testování.
6. Zhodnocení dosažených výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] COUCH, Leon W. *Digital and Analog Communication Systems*. 7th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007, 751 s. ISBN 0-13-142492-0.
[2] HAČ, Anna. *Wireless sensor network design*. Hoboken, NJ: J. Wiley, c2003, xiv, 391 p. ISBN 0-470-86736-1.
[3] CATSOULIS, John. *Design Embedded Hardware*. 1st Ed. Boston: O'Reilly Media, 2002, 298 s. ISBN 0-596-00362-5.
[4] NEVŘIVA, Pavel. *Analýza signálů a soustav*. 1. vyd. Praha : Ben - technická literatura, 2000, 671 s. ISBN 80-7300-004-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Hercík**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

Dne 7.5.2014

Daniel Lazar.....

Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření optického časoměrného systému, který bude schopen měřit čas, za který těleso urazí vytyčenou dráhu.

V první části práce je rozebrán způsob, jakým lze detekovat přítomnost tělesa, dále práce obsahuje rozbor metod měření analogového signálu, které jsou základem pro detekování. Následuje analýza metody pro měření času na mikrokontroléru. V jedné z kapitol jsou popsány metody bezdrátového přenosu dat, důležité pro komunikaci s PC. Další částí práce je návrh schématu optického časoměrného systému a optické brány.

V druhé části je popsána vizualizace, která shromažďuje a zpracovává data vysílaná časoměrným systémem. Poslední kapitola popisuje demonstrační měření a vyhodnocení dat získaných z optického časoměrného systému.

Klíčová slova

Optický časoměrný systém, bezdrátový přenos dat, optická brána (závora), infračervené záření, infračervená dioda, fototranzistor, Bluetooth, mikrokontrolér.

Abstract

The aim of this bachelor's thesis is to create optical timekeeping system which will be able to measure time for which the orb makes specific distance.

The first part of the work describes how to detect presence of some orb. Another part describes methods how to measure analog signal which are the basis for detecting orb. Next part includes method for measuring time on microcontroller. One of the chapter describes how to communicate between microcontroller and PC using Bluetooth or ZigBEE. Final chapter of the first part contains designs of schema for optical timekeeping system.

The second part of the work describes visualization of timekeeping system, which collects and compiles data that are transmitting by timekeeping system. The final chapter includes demonstrational measure and result that was collected by optical timekeeping system.

Key words

Optical timekeeping system, wireless transmission of data, optical gate, infrared radiation, infrared diode, phototransistor, Bluetooth, microcontroller

Seznam použitých zkratk

BT – Bluetooth

CPU – Central Procesor Unit

C# – Csharp, programovací jazyk

DFT – Discrete Fourier Transform

FSK – Frekvenční modulace

GFSK – Gausova frekvenční modulace

HW – Hardware

IR – Infrared (Infračervený)

ISM – Industrial Scientific Medical band

LCD – Liquid Crystal Display

MCU – Microcontroller

PC – Personal Computer

PWM – Pulse Width Modulation

RS232 – Seriová linka

USB – Universal Serial Bus

WPAN – Wireless Personal Area Network

Obsah

1. Úvod	1
2. Optická závora (infračervená závora)	2
2.1. Infračervené záření.....	2
2.2. IR LED (infračervená led dioda)	2
2.3. Fototranzistor.....	3
2.4. Princip IR závory.....	3
2.5. Způsoby konstrukce IR závory	4
3. Mikrokontroler MCU	6
3.1. Arduino.....	6
3.2. ATmega328P	8
4. Realizace rozhraní mezi MCU a IR závorou.....	10
5. Metody bezdrátového přenosu dat mezi MCU a PC	11
5.1. Bluetooth.....	11
5.2. ZigBee	13
5.3. Vybraný bezdrátový modul a jeho konfigurace	14
6. Vizualizace měřených dat pomocí LCD displeje.....	16
7. Návrh schématu zapojení optického časoměrného systému a jeho popis.....	17
7.1. Schémata zapojení centrální jednotky.....	17
7.2. Schéma zapojení IR brany.....	21
8. Měření analogového signálu z fototranzistoru a měření časových intervalů	22
8.1. DFT (Discrete Fourier Transform).....	22
8.2. Porovnávací metoda	24
8.3. Měření časových intervalů	25
9. Módy měření pomocí optického časoměrného systému	26
9.1. Mód kalibrace (Nastavení bran)	26
9.2. Mód měření pomocí jedné brány	26
9.3. Mód měření kol pomocí více bran.....	27
9.4. Mód sprint.....	28
10. Popis vizualizace optického časoměrného systému	29
11. Verifikace a testování.....	31
11.1. Data naměřená optickým časoměrným systémem	32
12. Závěr.....	34
Seznam použité literatury.....	35
Přílohy	37
A. Schéma zapojení centrální jednotky Optického časoměrného systému	37
B. Desky plošných spojů	38

C.	Seznam součástí Optického časoměrného systému	41
D.	Fotodokumentace Optického časoměrného systému.....	43
E.	Ukázka instrukcí ve vývojovém prostředí Arduino	44

Seznam obrázků

<i>Obr. 1 IR LED</i>	2
<i>Obr. 2 Fototranzistor schématická značka</i>	3
<i>Obr. 3 Princip činnosti IR závory</i>	3
<i>Obr. 4 Princip činnosti IR závory zapojení</i>	4
<i>Obr. 5 Zapojení IR závory včetně modulace</i>	4
<i>Obr. 6 Konstrukce IR závory pomocí odrazu IR paprsku</i>	5
<i>Obr. 7 Konstrukce IR závory pomocí dutého zrcadla</i>	5
<i>Obr. 8 Mikrokontroler MCU ATmega 328PU</i>	6
<i>Obr. 9 Ukázka vývojového prostředí Arduino</i>	7
<i>Obr. 10 Vývojová platforma Arduino Uno</i>	7
<i>Obr. 11 Konfigurace pinů ATmega328P</i>	8
<i>Obr. 12 Topologie propojení IR závor s centrální jednotkou</i>	10
<i>Obr. 13 USB konektor typu[8]</i>	10
<i>Obr. 14 Bezdrátová komunikace mezi MCU a PC</i>	11
<i>Obr. 15 Princip metody kmitočtových skoků</i>	11
<i>Obr. 16 princip FSK modulace</i>	12
<i>Obr. 17 GFSK princip</i>	12
<i>Obr. 18 OSI model komunikačního protokolu ZigBee</i>	13
<i>Obr. 19 BT modul, pohled z čela</i>	14
<i>Obr. 20 BT modul, pohled ze zadu</i>	14
<i>Obr. 21 RS232 to TTL Serial Communications Module</i>	15
<i>Obr. 22 LCD displej MC2004B-SYL/H</i>	16
<i>Obr. 23 Rozložení pinů displeje</i>	16
<i>Obr. 24 Schéma pro napájecí část [13]</i>	17
<i>Obr. 25 Schéma převodníku USB na UART [14][15]</i>	17
<i>Obr. 26 Schéma zapojení Bluetooth konektoru + výběr komunikace</i>	18
<i>Obr. 27 Schéma zapojení MCU [14]</i>	18
<i>Obr. 28 Schéma zapojení konektorů pro brány</i>	19
<i>Obr. 29 Schéma pro řízení IR LED</i>	19
<i>Obr. 30 Schéma zapojení řídicích tlačítek</i>	20
<i>Obr. 31 Schéma zapojení LCD displeje [16]</i>	20
<i>Obr. 32 Schéma zapojení přijímače IR brány</i>	21
<i>Obr. 33 Schéma zapojení vysílače IR brány</i>	21
<i>Obr. 34 Popis modulace a vzorkování</i>	22
<i>Obr. 35 Amplitudové frekvenční spektrum</i>	24
<i>Obr. 36 Vývojový diagram porovnávací metody</i>	25
<i>Obr. 37 Obrazovka hlavního menu časomíry</i>	26
<i>Obr. 38 Obrazovka menu kalibrace</i>	26
<i>Obr. 39 Obrazovky upozornění před vstupem do menu módu měření pom. jedné brány</i>	27
<i>Obr. 40 Obrazovka pro chyb. hlášení před začátkem měření + obrazovka pro start měření</i> ..	27
<i>Obr. 41 Obrazovka naměřených časů</i>	27
<i>Obr. 42 Obrazovky pro výběr bran</i>	28
<i>Obr. 43 Vizualizace neaktivní (nepřipojená)</i>	29
<i>Obr. 44 Vizualizace připojená</i>	29
<i>Obr. 45 Vizualizace nastavení</i>	31
<i>Obr. 46 Vizualizace časomíry během měření</i>	31

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Popis pinů MCU ATmega328P [7]</i>	9
<i>Tab. 2 Legenda USB B konektoru [8]</i>	10
<i>Tab. 3 Srovnání ZigBee a Bluetooth [11]</i>	14
<i>Tab. 4 Konfigurace BT modulu</i>	15
<i>Tab. 5 Legenda k tabulce 4, konfigurace BaudRate</i>	15
<i>Tab. 6 Popis pinů displeje [12]</i>	16
<i>Tab. 7 Připojené periférie k MCU</i>	19

1. Úvod

V praktickém životě je potřeba měřit čas, za který těleso urazí libovolnou dráhu, v minulosti se měřilo pomocí stopek. Tato metoda je dobrá, ovšem není zcela přesná, jelikož výsledky měření závisí na reakci a reflexech člověka, proto se přechází na elektronické měření časových úseků. V moderních sportech rozhoduje každá setina někdy i tisícina sekundy (formule 1). Díky tohoto měření je možné této přesnosti docílit, navíc změřený čas lze zdokumentovat, vyhodnocovat a dále zpracovávat. Cílem této práce je vytvořit vestavěný systém, detekující přítomnost tělesa v místě, kde začíná, respektive končí měřený úsek, a na základě této detekce měřit celkové časy, mezičasy a časy na kolo. Tyto časy se následně zpracují a zobrazí buď na LCD displej nebo se pomocí bezdrátového přenosu zobrazí na obrazovku PC (Personal Computer).

Práci je možno rozdělit do dvou částí. V první části je řešen HW (hardware), to znamená, výběr součástek pro detekci tělesa (optická brána). Bude probráno IR (infrachervené) záření, odraz IR světla od okolních předmětů a také bude zmíněno, jaké druhy těles IR záření pohlcují, a které naopak záření odráží. Jedna z kapitol obsahuje rozbor metod tvorby IR závory, zhodnocení jejich výhod a nevýhod. Důležitou částí je také výběr MCU (microcontroller), tvořící základ pro celé měření a veškerou komunikaci. Následuje kapitola zabývající se kabeláží pro přenos signálu z IR bran do MCU. Další kapitola se zabývá komunikací mezi MCU a PC. Zejména tato část je zajímavá, protože se jedná o bezdrátový přenos dat. Hlavními kandidáty pro takový přenos jsou ZigBee a Bluetooth, bude popsáno, jakým způsobem přenášejí data, jaké jsou jejich výhody a nevýhody a proč použít metodu ZigBee nebo Bluetooth. Poslední částí HW, nezbytnou pro základní vizualizaci dat, je LCD display, který poslouží ke kalibraci měřícího zařízení a základní komunikaci s uživatelem v případě, že se nebude možno připojit k PC.

Výsledkem této částí, je samotná realizace vestavěného systému. Jedná se tedy o návrh schématu zapojení, výpočet a výběr komponent (tranzistorů, zesilovačů, rezistorů, led diod), návrh desky plošného spoje a kompletní popis všech zapojení (IR závora, periferie MCU atd.).

Druhá část je zaměřena na samotné programování MCU, jedná se o Atmega328 od firmy Atmel, používaný u velice oblíbených vývojových platforem Arduino. Mikrokontroléry používané v těchto platformách obsahují bootloader, což je „Operační systém v mikrokontroléru“, který po spuštění programu nakonfiguruje jednotlivé piny MCU, čítače, časovače, přerušení apod. Programování těchto MCU je tedy snadnější. Budou probrány způsoby, jak vyčíst signál z analogového pinu MCU, to znamená jeho frekvenci a amplitudu. Další kapitola ukazuje, jak měřit časové úseky pomocí čítače reálného času. Poslední část práce popisuje Windows form aplikaci naprogramovanou v C#. Tato aplikace bude sloužit jak pro vizualizaci hodnot získaných díky MCU, tak pro řízení programu v MCU. Součástí práce je tedy vytvoření jednoduchého komunikačního protokolu mezi programem v MCU a aplikací v C#.

2. Optická závora (infračervená závora)

Základem pro celý měřicí cyklus je optická závora, sloužící pro detekci přítomnosti tělesa. Princip závory využívá infračerveného záření.

2.1. Infračervené záření

Jedná se o elektromagnetické vlnění s vlnovou délkou větší, než je vlnová délka viditelného světla, a kratší než vlnová délka mikrovln. Infračervené záření objevil v r. 1800 britský astronom Sir William Herschel, který optickým hranolem rozložil sluneční světlo na jednotlivé barvy. Do rozloženého barevného spektra vložil sadu rtuťových teploměrů a zjistil, že teplota je stále vyšší směrem k červené straně spektra. Dále Herschela napadlo teploměr posunout až za červený okraj viditelného spektra. Ke svému překvapení zjistil, že zde teplota dosahuje nejvyšších hodnot. To prokázalo existenci neviditelného záření přenášející teplo, později nazvané infračervené.[1]

Vlastnosti:

- Má tepelné účinky, tělesa se zahřívají při jeho pohlcování
- Je neviditelné, jeho šíření pouhým okem nepozorujeme
- Má podobné vlastnosti jako světlo
- Zakaleným prostředím (mlhou) proniká snadněji než světlo

Vlastností infračerveného záření se využívá v lékařství, meteorologii a ekologii. Využívá se také pro noční vidění (armáda, kamery s nočním viděním), měření okolních teplot, bezdrátový přenos atd. Oblast, bezdrátový přenos informace (dálkové ovladače, čtečky čárových kódů), je pro konstrukci IR brány základem.

2.2. IR LED (infračervená led dioda)

Jedná se o polovodičovou součástku, která slouží jako zdroj infračerveného světla o vlnové délce $\lambda > 760 \text{ nm}$, zapouzdřená v klasickém pouzdře jako u ostatních LED. Úbytek napětí v propustném směru bývá zpravidla $U_f < 1,9 \text{ V}$. Využívá se zejména u dálkových ovladačů.

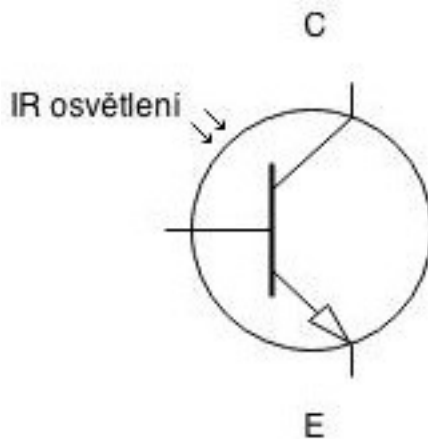


Obr. 1 IR LED

V optické bráně poslouží jako vysílač.

2.3. Fototranzistor

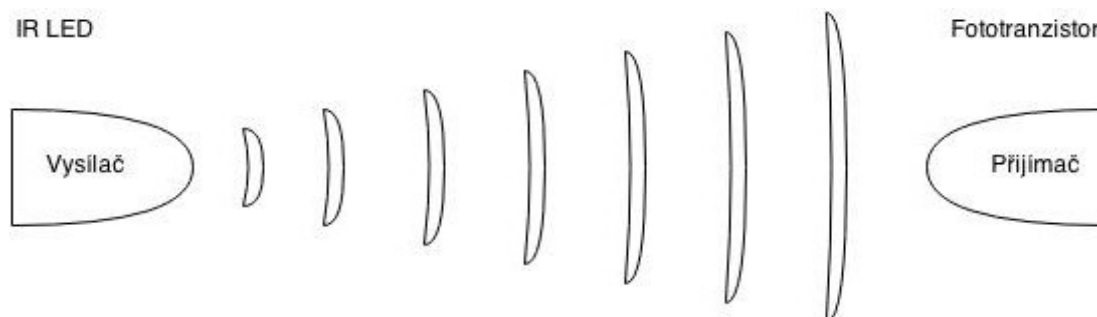
Polovodičová součástka fungující podobně jako klasický NPN tranzistor. U tranzistoru je přechod mezi kolektorem a emitorem řízený proudem do báze, u fototranzistoru je přechod mezi C a E řízen intenzitou osvětlení dopadající na pouzdro (klasická LED) fototranzistoru. V optické bráně bude sloužit jako přijímač.



Obr. 2 Fototranzistor schématická značka

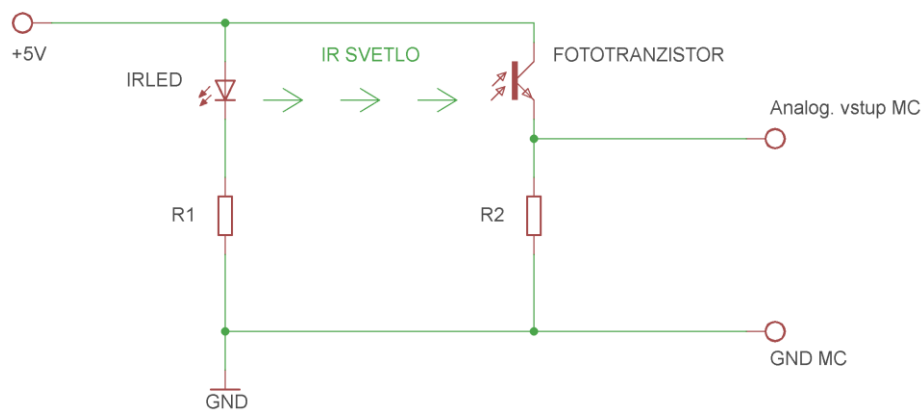
2.4. Princip IR závory

Vysílací strana, tvořená IR LED svítí na přijímací stranu tvořenou fototranzistorem, který bude v saturaci (je otevřen) jestliže na něj vysílač dosvítí. Pokud je na trase mezi vysílačem a přijímačem nějaká překážka, fototranzistor bude zavřený.



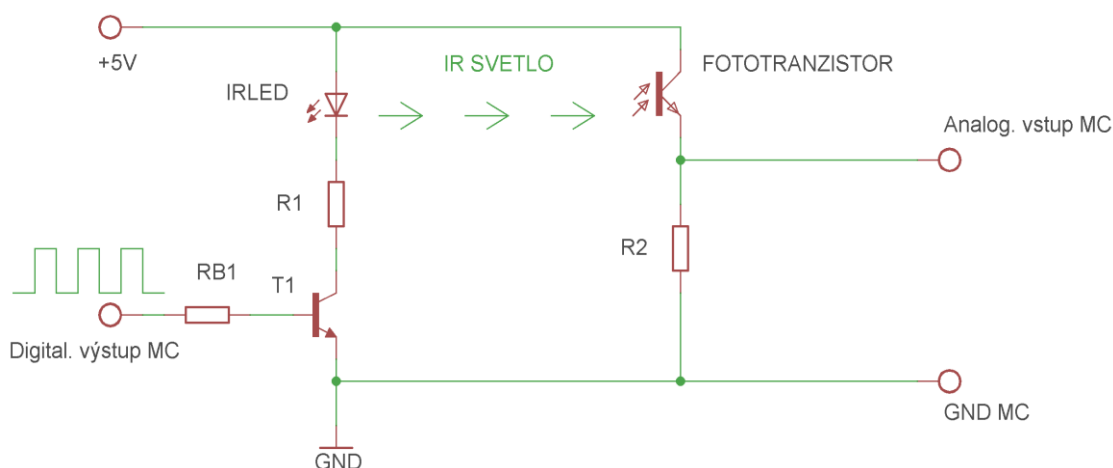
Obr. 3 Princip činnosti IR závory

Na obrázku 4 je jednoduché schéma demonstrující funkčnost IR závory. Po přivedení napájecího napětí 5V se rozsvítí IR LED, která otevírá fototranzistor. V ideálním případě naměříme na rezistoru R2 napětí 5V pokud je fototranzistor dostatečně nasvícen, v opačném případě naměříme 0V. Toto řešení není zcela výhodné, protože fototranzistor může být nasvícen z jiného zdroje, například fotoaparátem, sluncem nebo třetí osobou, která by chtěla zmařit měření. Proto je potřeba přenášený signál modulovat na určitou frekvenci. Pokud mezi vysílačem a přijímačem nebude žádné těleso, naměříme na přijímací straně stejnou frekvenci jako na vysílací straně.



Obr. 4 Princip činnosti IR závory zapojení

Závoru tedy zapojíme podle obrázku 5. Tranzistor T1 zapojený jako spínač ovládaný digitálním pinem MCU, rozbliká IR LED na zvolenou frekvenci. Frekvence signálu je měřená na straně fototranzistoru analogovým pinem MCU. Výhodou tohoto zapojení je nezávislost na amplitudě signálu, která se může libovolně měnit, důležitá je pouze změřená frekvence.



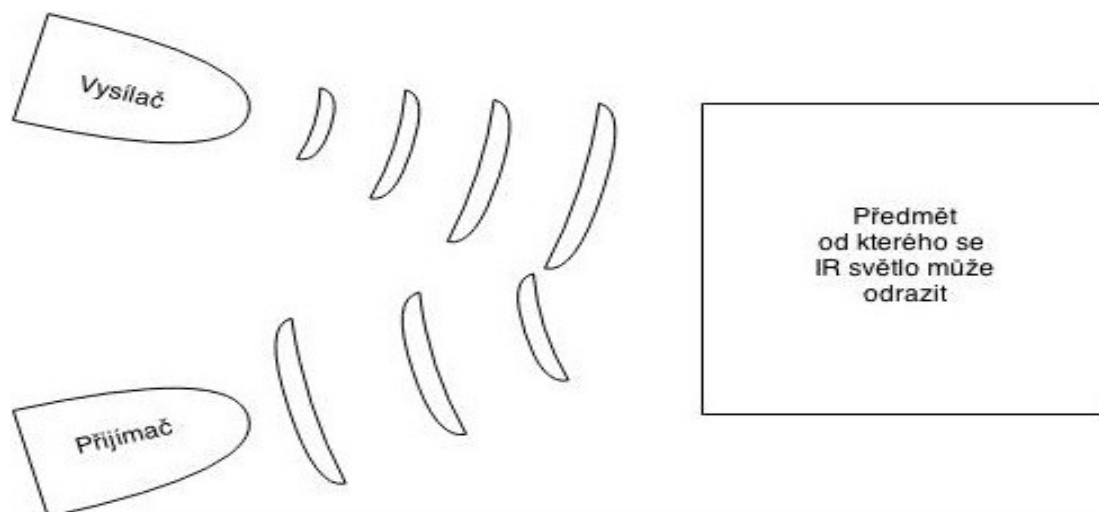
Obr. 5 Zapojení IR závory včetně modulace

2.5. Způsoby konstrukce IR závory

Jeden ze způsobů je již zmíněn v kapitole 2.4. To znamená, vysílací a přijímací strana, jsou naproti sobě viz obrázek 3. Výhodou tohoto řešení je velká vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem, nicméně brána musí být tvořena ze dvou částí, které musí být propojeny (od přijímače k vysílači), což může být bráno jako nevýhoda v porovnání s řešením, kdy je přijímač i vysílač zabudován ve společné části.

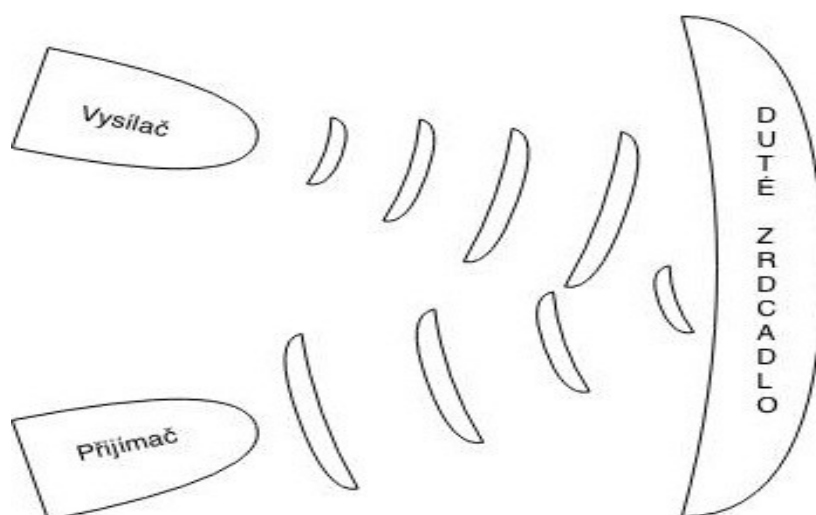
Přejdeme tedy k řešení kdy je vysílač i přijímač na jedné straně. Tento návrh závisí na odrazu IR paprsku od předmětu, viz obrázek 6. Vysílač vysílá signál do volného prostoru a jestliže není před vysílačem respektive přijímačem žádné těleso, na přijímači naměříme nulový signál. Pokud tam těleso bude, signál se od tělesa odrazí zpět k přijímači. Takové řešení není zcela výhodné, protože záleží, pod jakým úhlem předmět protne IR paprsek, mohlo by se totiž stát, že se paprsek odrazí úplně jiným směrem než k přijímači. Dalším problémem je, že některé

tělesa IR záření pohlcují, což vede k malému nebo žádnému odrazu IR paprsku a špatné čitelnosti přijímaného signálu. Jedná se o černá nebo tmavá tělesa.



Obr. 6 Konstrukce IR závory pomocí odrazu IR paprsku

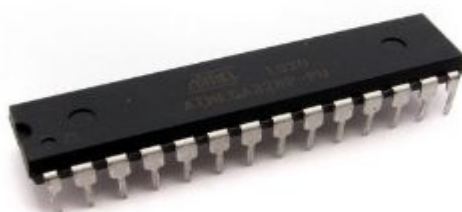
Pro sestavení brány, která bude mít vysílač i přijímač v jedné části, se využije naopak těleso, které IR paprsek odrazí. Řeč je o dutém zrcadle.[2] Řešení je zobrazeno na obrázku 7. Vysílač vysílá signál, který je odražen zpět k přijímači, navíc díky zakřivení zrcadla, nedochází k rozptylu IR paprsku, což zaručí, že signál dojde zpět k přijímači. Signál nedojde k přijímači pouze tehdy, když se v cestě objeví nějaký předmět. Výhodou řešení je, že veškerá elektronika se nachází na jedné straně. Tato IR závora bude náročnější na seřizování, protože IR paprsek je potřeba odrazit správným směrem, navíc paprsek musí urazit jak cestu od vysílače k zrcadlu tak od zrcadla k přijímači a to vede k menší, možné maximální šířce IR závory.



Obr. 7 Konstrukce IR závory pomocí dutého zrcadla

3. Mikrokontroler MCU

Druhou nezbytnou částí pro měřicí cyklus je mikrokontroler. Jedná se o programovatelnou elektronickou součástku, kterou vyrábí velké množství firem, nejznámější jsou firmy Freescale, Atmel, Texas instrument, Microchip a STMicroelectronics. Každá firma má svou rodinu jednotlivých MCU, které se dělí podle počtu bitů, počtu periférií, pouzdra, velikosti paměti pro program, operační paměti atd. Protože se tyto součástky používají nejčastěji pro vestavěný, řídicí systém, projektant musí vybírat ten nejvhodnější pro danou aplikaci. Nejčastější chyby při výběru jsou například nedostatečná operační paměť, nízký výkon CPU, nedostatek paměti pro program, nízký počet digitálních/analogových vstupů a výstupů, nekompatibilita komunikačních rozhraní.



Obr. 8 Mikrokontroler MCU ATmega 328PU

Tato integrovaná součástka je tvořená procesorem (CPU), operační pamětí, pamětí pro program, generátorem hodinového signálu a vstupně výstupními porty. Dále obsahuje komunikační rozhraní (UART, SPI, I²C....), čítače a časovače, generátory PWM (pulse width modulation), A/D a D/A převodníky, řadiče klávesnice nebo displeje a rozhraní pro ladění programu. Každý MCU má svůj datasheet a také referenční manuál, který je nezbytný pro programování. Pro naši vestavěnou aplikaci byl vybrán MCU Atmel ATmega 328PU s bootloaderem. Jedná se o procesor používaný u velice oblíbených vývojových platform ARDUINO. Veškeré další údaje v této kapitole se budou týkat právě této platformy a MCU.[3]

3.1. Arduino

Projekt, který vznikl v roce 2005 v Itálii ve městě Ivrea. Cílem bylo vytvořit jednoduchou prototypovací platformu pro studenty, která umožní rychlý vývoj a jednoduché používání. Projekt zaznamenal velký úspěch a později začaly vznikat jeho další, novější verze. Zakladatelé Massimo Banzi a David Cuartielles pojmenovali projekt po Arduinovi Ivrejském, významné historické postavě města.

Projekt Arduino je již od svého počátku volně dostupný všem uživatelům, kteří jej chtějí používat nebo vylepšovat. Dokumentace, referenční příručka a externí knihovny jsou vydávány pod licenci Creative Commons. Díky tomu jsou k dispozici všechny zdrojové soubory a je dodržována určitá kompatibilita. Vývojové kity Arduino, obsahují 8-bitové mikrokontrolery z rodiny AVR od firmy Atmel, jedná se o ATmega8, ATmega168, **ATmega328**, ATmega1280 a ATmega2560.[4] Dále se na platformách nachází několik diod, resetovací tlačítko, konektory pro

ICSP programování, napájecí konektor, oscilátor (krystal 16 MHz) a obvod zprostředkovávající komunikaci přes USB (převodník USB do UART a naopak). Základní verze Arduina, Arduino Uno, právě s MCU ATmega328, poskytuje celkem 14 I/O digitálních pinů a 6 pinů analogových. Šest digitálních pinů je také možné použít na softwarově řízený PWM výstup. MCU, který je uživatelsky programovatelný, obsahuje **bootloader**, kód který se po spuštění postará o základní nastavení MCU, to znamená interní čítače, digitální/analogové vstupy a výstupy, nastavení USART a další. Díky tomu se programátor nemusí starat o složité příkazy (nastavování registrů apod.) a může programovat pomocí jazyka podobnému C/C++. Programovací prostředí je volně stažitelné z webové stránky Arduina ve formě java aplikace.[5]



Obr. 9 Ukázka vývojového prostředí Arduino

Arduino je ve světě velice oblíbené, proto vzniká spousta internetových stránek a příkladů použití. Dále jsou dostupné materiály podle, kterých se takové Arduino dá postavit, čehož je využito při tvorbě optického časoměrného systému.

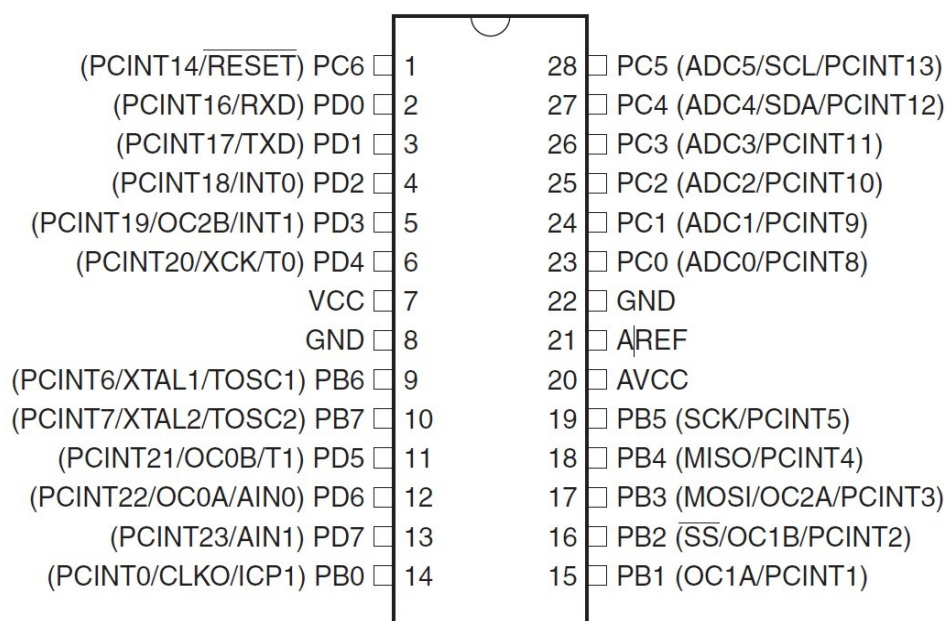


Obr. 10 Vývojová platforma Arduino Uno

3.2. ATmega328P

Jedná se o vysoce výkonný, nízko napěťový osmibitový mikrokontrolér z rodiny AVR od výrobce Atmel. MCU má 32 KB velkou flash paměť pro program, dále 1 KB EEPROM a 2 KB RAM.

MCU obsahuje dva osmibitové čítače/časovače, jeden šestnáctibitový čítač/časovač a také čítač reálného času, dále obsahuje 6 PWM kanálů, 6 desetibitových A/D převodníků, programovatelnou sériovou linku USART, SPI sběrnici, programovatelný Watchdog Timer, analogový komparátor a piny pro přerušení a buzení. Pracuje v napěťovém rozsahu 1,8 V – 5,5 V a pracovní teplota je od -40°C do 85°C.[6]



Obr. 11 Konfigurace pinů ATmega328P

MCU má 28 pinů z toho 23 pinů je programovatelných, rozložení jednotlivých pinů a portů se nachází na obrázku 11. Piny 7 a 8 slouží pro napájení, pokud bude potřeba použít A/D převodníky musí být přivedeno napájecí napětí také na piny 20 a 22. Pin 21 slouží jako referenční napětí pro A/D převod.

MCU se používá pro platformy Arduino Uno, proto jej lze pořídit samostatně nebo s bootloaderem (viz kapitola 3.1.). Klasický MCU by se programoval pomocí ICSP, díky bootloaderu jej můžeme naprogramovat snadněji po sériové lince, nicméně potřebujeme znát Arduino piny díky kterých se konfiguruje fyzické piny MCU. V tabulce 1 je popsána funkčnost jednotlivých pinů a také přiřazení Arduino pinů. Všechny piny v tabulce 1 se také dají konfigurovat jako digitální vstup nebo výstup.

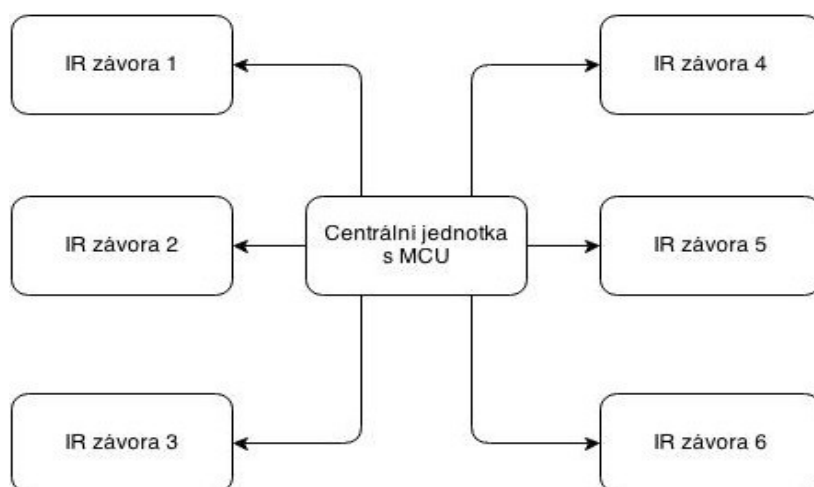
Číslo pinu	Popis	Arduino pin
1 (PC6)	Slouží pro Reset MCU	
2 (PD0)	Komunikace po sériové lince (čtení dat)	0
3 (PD1)	Komunikace po sériové lince (posílání dat)	1
4 (PD2)	Externí přerušení	2
5 (PD3)	PWM a Externí přerušení	3
6 (PD4)	Sériová linka externí hodiny I/O + externí čítač/časovač 0	4
9 (PB6)	Slouží pro připojení krystalu, který určí takt CPU	
10 (PB7)	Slouží pro připojení krystalu, který určí takt CPU	
11 (PD5)	PWM a externí čítač/časovač	5
12 (PD6)	PWM a vstup analogového komparátoru	6
13 (PD7)	Druhý vstup analogového komparátoru	7
14 (PB0)	Výstup systémových hodin a čítač	8
15 (PB1)	PWM	9
16 (PB2)	Výběr Master/Slave pro SPI a PWM	10
17 (PB3)	Komunikace SPI a PWM	11
18 (PB4)	Komunikace SPI	12
19 (PB5)	Komunikace SPI	13
23 (PC0)	Analogový pin	A0
24 (PC1)	Analogový pin	A1
25 (PC2)	Analogový pin	A2
26 (PC3)	Analogový pin	A3
27 (PC4)	Komunikace I ² C a Analogový pin	A4
28 (PC5)	Komunikace I ² C a Analogový pin	A5

Tab. 1 Popis pinů MCU ATmega328P [7]

Mikrokontroler řídí frekvenci vysílacích IR led, vyčítá frekvence signálů z jednotlivých fototranzistorů, měří časové úseky, získaný čas dále zpracovává a také komunikuje s PC. Proto je nutnou částí měřicího řetězce.

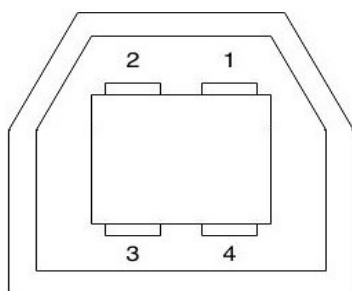
4. Realizace rozhraní mezi MCU a IR závorou

V předchozích kapitolách byla probrána IR závora a MCU, tématem této kapitoly je propojení mezi nimi. Předpoklad je takový, že MCU (centrální stanice) má své pevné místo a závora respektive závory jsou umístěny v místech kde je potřeba detekovat těleso. Aby závora mohla správně fungovat, potřebujeme k ní přivést napájení +5V a také zem, dále vodič který ovládá IR led a také signálový vodič z fototranzistoru k analogovému pinu MCU. Může se tedy na centrální stanici vytvořit svorkovnice pro každou z bran, do které by byl zmíněný vodič připojen, nicméně pokud je uvažováno o maximálním počtu bran 6, (podle počtu analogových pinů MCU) to znamená 24 připojovacích míst, které se mohou časem snadno splést. Zde se nabízí možnost využití některého z celé řady konektorů.



Obr. 12 Topologie propojení IR závor s centrální jednotkou

Jeden z konektorů využívající 4 vodiče je USB. Universal Serial Bus, je univerzální sběrnice, která nahradila sériovou linku RS232, PS2 konektory atd. Její využití je téměř ve všech zařízeních např. kamery, flash disky, mobilní telefony, PC a jiné. Ovšem předmětem teď není samotné USB, ale pouze jeho konektor a kabel.



Obr. 13 USB konektor typu B [8]

Vodič	USB B	Nové zapojení
1	Napájení +5V	+5V
2	Data -	IR LED
3	Data +	Fototranzistor
4	Zem	Zem

Tab. 2 Legenda USB B konektoru [8]

Na obrázku 13 je zobrazen USB konektor typu B, tabulka 2 popisuje jednotlivé vodiče a také nové zapojení navržené pro propojení IR brány a centrální stanice. Na vodič 1 a 4 je tedy přivedeno napájení, na vodič 2 je přiveden obdélníkový signál generovaný pinem MCU, který řídí IR LED, vodič 3 poslouží jako signálový vodič z fototranzistoru. U klasického vedení USB je vodič 2 a 3 kroucený a celý kabel je následně stíněn, což je další výhoda použití USB konektivity.

5. Metody bezdrátového přenosu dat mezi MCU a PC

Protože centrální jednotka s IR závorami může být umístěna na těžko přístupném místě, nebo nám prostředí nedovolí připojit se k MCU pomocí sériového kabelu, tak je potřeba tuto komunikaci vytvořit bezdrátově. Bezdrátové přenosy dat jsou v dnešní době používány všude kolem nás, jsou to Wifi, Bluetooth, Zigbee, GSM, 3G, 3GPP a další. Cílem je tedy najít technologii, která nahradí sériovou linku a její dosah by měl být do cca 10 m. Takové kritéria nejlépe splňuje technologie Bluetooth nebo také Zigbee, proto se není potřeba dalšími z nich zabývat.

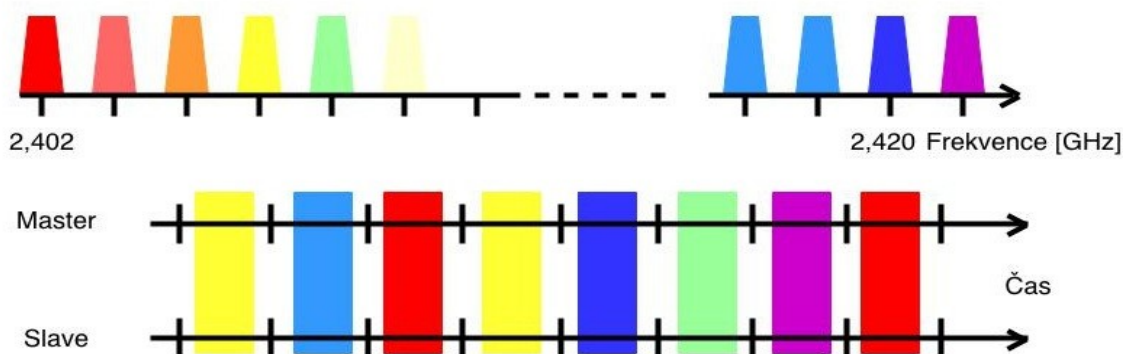


Obr. 14 Bezdrátová komunikace mezi MCU a PC

5.1. Bluetooth

Systém Bluetooth je založen na levném krátkodosahovém rádiovém spojení, bez potřeby konektorů, kabelů nebo jiných pevných spojení. Další přednosti jsou nízká spotřeba energie, malé rozměry modulů a není zde potřeba přímé viditelnosti tak jako třeba u IR přenosu dat. Používá se například pro spojení mezi mobilními telefony, headsety, příručními počítači, tiskárnami nebo pro vytváření lokálních sítí.

Bluetooth spadá do třídy bezdrátových sítí (WPAN), které pracují v kmitočtovém pásmu ISM (Industrial Scientific Medical band) jedná se o celosvětově přístupné a neplacené pásmo 2,4 GHz (2,400 – 2,4835 GHz). Za účelem potlačení interference s dalšími signály, které operují v pásmu ISM, používá technologie Bluetooth metodu kmitočtových skoků (frequency hopping) s nominální rychlostí 1600 skoků/s. Vysílač mění frekvenci po každém přenosu a příjmu. Tím je zajištěna větší kvalita spojení. Princip této metody je zobrazen na obrázku 15.



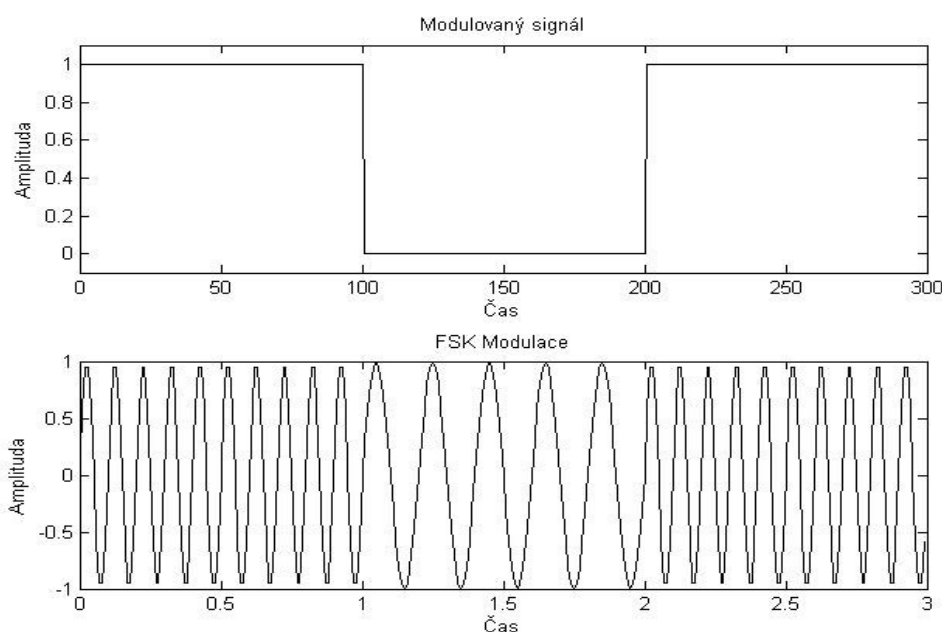
Obr. 15 Princip metody kmitočtových skoků

Zařízení Bluetooth nacházející se v dosahu mohou mezi sebou tvořit spojení bod-bod, nebo v případě více zařízení bod-více bodů. Dvě nebo více zařízení, které sdílejí společný kanál, tvoří buňku zvanou piconet. Několik takových buněk se může sloučit do většího uskupení scatternet, což umožní posílání dat i na větší vzdálenosti. Každá buňka piconet, je stanovena

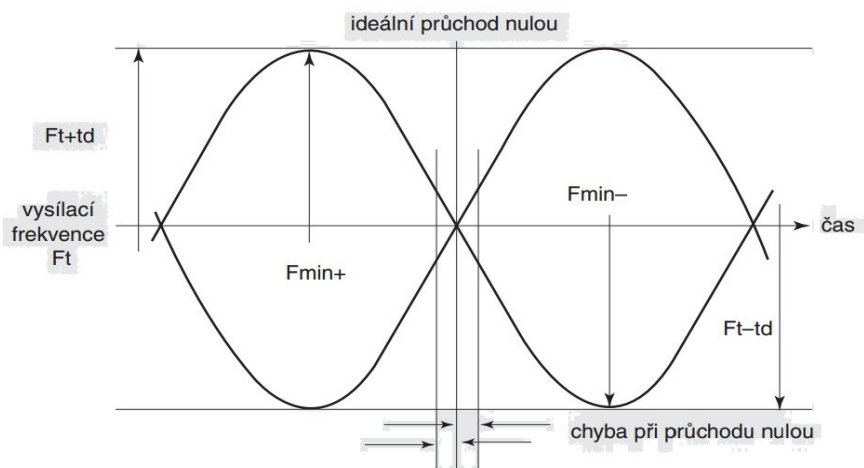
jiným schématem frekvenčních skoků, proto nedojde ke kolizi s jinými zařízeními komunikující přes Bluetooth (ve stejné místnosti). Při komunikaci s více zařízeními se jedno zařízení nakonfiguruje jako Master a ostatní Slave jsou mu podřízeny. Podle specifikace Bluetooth může s Masterem komunikovat až 7 zařízení typu slave.

Bluetooth umožňuje přenášet data a také hlas, přenos hlasu je realizován synchronním spojením o rychlosti 64 kb/s. Datové spojení je asynchronní a to buď asymetrické (s rychlostí 723 kb/s v jednom směru a 57,6 kb/s ve směru druhém), nebo symetrické (s rychlostí 432,6 kb/s v obou směrech).

Pro přenos dat se využívá Gaussovská modulace s frekvenčním klíčováním, při které je modulátoru FSK předřazena dolní propust' gaussovského typu. Pravoúhlý signál se po průchodu propustí přemění na spojitý signál ve tvaru Gaussovy křivky, a tím se omezí šířka pásma (1 MHz) potřebná pro přenos. Modulační index musí mít hodnotu v rozmezí 0,28-0,35. Logická jednička je reprezentována kladnou frekvenční odchylkou a logická nula zápornou odchylkou.



Obr. 16 princip FSK modulace



Obr. 17 GFSK princip

K zabezpečení systému se používá množství mechanismů. V každé jednotce musí být realizovány procedury ověřování a šifrování. K dosažení bezpečnosti se používá veřejné adresování, které je jedinečné pro každého uživatele (adresa 48 b), dále dva tajné klíče (délky 128 b) a náhodné číslo (délky 128 b), které je různé pro každou novou operaci. V případě propojení s PC může být požadován PIN. Ověřováním se předejde k nežádoucím přístupům k datům.[9]

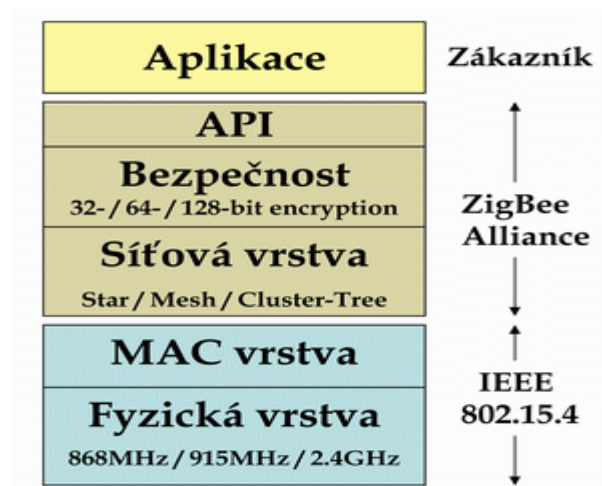
5.2. ZigBee

Poměrně mladá, levná, HW nenáročná technologie, spadající do WPAN. ZigBee je jednoduchý bezdrátový komunikační standard, který umožňuje vzájemnou komunikaci mnoha zařízení na vzdálenost stovky metrů.

Hlavní rysy:

- Nízký odběr – součástky jsou schopné pracovat v bateriové aplikaci i několik let
- Nízká přenosová rychlost – maximální teoretická rychlost je pro pásmo 2,4 GHz 250 kb/s ovšem díky nižší přenosové rychlosti, poskytuje vyšší odolnost proti rušení, což ZigBee předurčuje pro využití v průmyslu.
- Malé nebo rozlehlé sítě – zigBee síť je schopná spravovat teoreticky až 65535 zařízení
- Dosah – zařízení poskytují dosah v jednotkách, desítkách i stovkách metrů
- Jednoduchá instalace a start sítě – zigBee standard podporuje síťové topologie a jednoduché protokoly k vytváření a připojování sítě.

Standard ZigBee je jednoduchý bezdrátový komunikační standard, který umožňuje komunikaci několika zařízení na vzdálenost 10 až 50 metrů. Tento standard spravuje organizace ZigBee Alliance a označuje se také jako IEEE 802.15.4. OSI model tohoto standardu je znázorněn na obrázku 18.



Obr. 18 OSI model komunikačního protokolu ZigBee

Standard 802.15.4 definuje fyzickou a linkovou vrstvu (MAC vrstva). A právě fyzická vrstva určuje pásmo, které bude použito.

ZigBee pracuje ve frekvenčním pásmu ISM 2,4GHz. V ISM pásmu má vymezených šestnáct kanálů, kde každý kanál zabírá 3 MHz a kanály jsou od sebe odděleny pásmem o

velikosti 2 MHz. Dále pro americký kontinent pracuje v pásmu 915 MHz na deseti kanálech s přenosovou rychlostí 40 kb/s. Existuje ještě jedno pásmo pro Evropu 868 MHz, který má jeden kanál a přenosovou rychlost 20 kb/s.

Pro přenos se datový signál moduluje metodou O-QPSK a vzduchem se data přenášejí prostřednictvím DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). Pro přístup ke kanálu se využívá metoda CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance and optional time slotting).[10][11]

Srovnání ZigBee a Bluetooth

-----	Bluetooth	ZigBee
Aplikační zaměření	Náhrada za kabel	Monitorování a řízení
Systémové zdroje (paměť)	250 KB	4 KB – 32 KB
Životnost baterií (dny)	1 - 7	100 – 1000 i více
Max. Velikost sítě (zařízení)	7	až 6500
Přenosová rychlost (Kb/s)	až 720	20 - 250
Komunikační dosah (m)	1 - 10	1 - 100
Výhody	Cena, Jednoduchost	Spolehlivost, Výkon, Cena

Tab. 3 Srovnání ZigBee a Bluetooth [11]

5.3. Vybraný bezdrátový modul a jeho konfigurace

Pro bezdrátovou komunikaci je vybrán modul využívající technologii Bluetooth. Ten nahrazuje sériovou linku a je navržen přímo pro platformu Arduino. Jedná se o JY-MCU Bluetooth Wireless Serial Port Module for Arduino.



Obr. 19 BT modul, pohled z čela



Obr. 20 BT modul, pohled ze zadu

Na obrázku 19 a 20 se nachází BT modul, obsahující pouze 4 piny, které je potřeba připojit. Jsou to piny pro napájení 5V, zem, a dva komunikační piny pro sériovou linku, pin RXD (čtecí) a pin TXD (vysílací). Po připojení modulu k MCU se toto zařízení hlásí jako klasický COM port v PC. Každý COM port má své parametry název, BaudRate, Paritu, Stopbit a Databit. Tyto parametry musí být stejné v MCU, BT modulu a PC, potom bude komunikace fungovat regulérně. Z toho důvodu je potřeba konfigurovat BT modul, který je potřeba připojit k PC.

Propojení je realizováno pomocí převodníku TTL – RS232 viz obrázek 21, jenž je následně připojen ke klasickému, sériovému kabelu RS232. Takto připojený BT modul je možno konfigurovat pomocí jakéhokoliv sériového komunikátoru (RS232 analyzer).



Obr. 21 RS232 to TTL Serial Communications Module

Základní nastavení COM portu BT modulu je: BaudRate = 9600, Databit = 8, Parity = none, Stopbit = 1. Po otevření COM portu může začít konfigurace, pomocí tabulky 4 a 5.

Akce	Pošli	Přijme
Test komunikace	AT	OK
Nastavení BaudRate	AT+BAUD1 (viz tabulka 5)	OK1200
Jméno modulu (Max 20 znaků)	AT+NAMEjméno	OKjméno
Nastavení hesla	AT+PINxxxx	OKsetpin
Nastavení Parity na None	AT+PN	OK NONE
Nastavení Parity na Odd	AT+PO	OK ODD
Nastavení Parity na Even	AT+PE	OD EVEN
Zjištění verze BT modulu	AT+VERSION	LinvorV1.n

Tab. 4 Konfigurace BT modulu

číslo	1	2	3	4	5	6
BaudRate(č.)	1200	2400	4800	9600	19200	38400
číslo	8	9	A	B	C	-----
BaudRate(č.)	57600	115200	460800	921600	1382400	-----

Tab. 5 Legenda k tabulce 4, konfigurace BaudRate

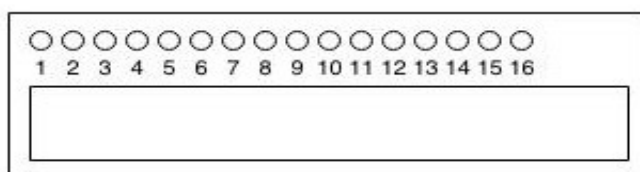
Po uzavření COM portu se všechny nastavené hodnoty uloží, důležité je si zapamatovat jaká hodnota BaudRate byla zadána, protože při následné konfiguraci se k BT modulu lze připojit pouze pod touto hodnotou.

6. Vizualizace měřených dat pomocí LCD displeje

Pro řízení a vizualizaci naměřených hodnot přímo na měřicím přípravku, poslouží alfanumerický displej, který má 20 znaků x 4 řádky. Řadič tohoto displeje je S6A0069, který je kompatibilní s řadičem HD 44780 LCD. Tyto displeje je možno programovat pomocí arduino knihovny LiquidCrystal. Díky této knihovny může programátor snadněji pracovat s displejem. Schéma zapojení je popsáno v kapitole 7.1.



Obr. 22 LCD displej MC2004B-SYL/H



Obr. 23 Rozložení pinů displeje

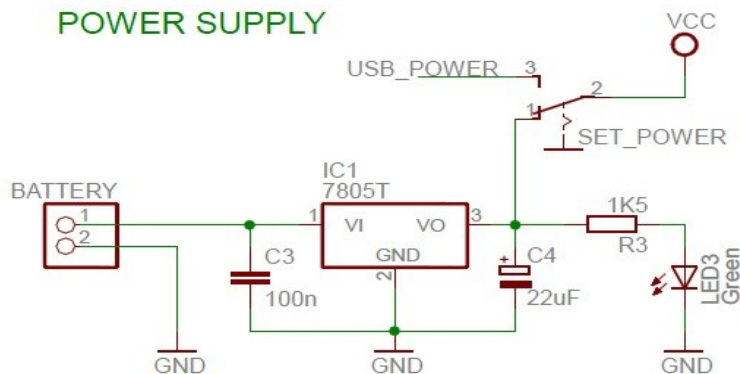
Číslo pinu	Značka	Popis	Číslo pinu	Značka	Popis
1	V _{SS}	Zem	9	DB2	Datový pin
2	V _{DD}	+5V	10	DB3	Datový pin
3	V0	Operační Napětí pro LCD	11	DB4	Datový pin
4	R/S	Log. 1: Data, Log. 0: instrukční kód	12	DB5	Datový pin
5	R/W	Log. 1: Čtení, Log. 0: Zápis	13	DB6	Datový pin
6	E	Povolení signálu	14	DB7	Datový pin
7	DB0	Datový pin	15	A	+4,2V Podsvícení
8	DB1	Datový pin	16	K	0V Podsvícení

Tab. 6 Popis pinů displeje [12]

7. Návrh schématu zapojení optického časoměrného systému a jeho popis

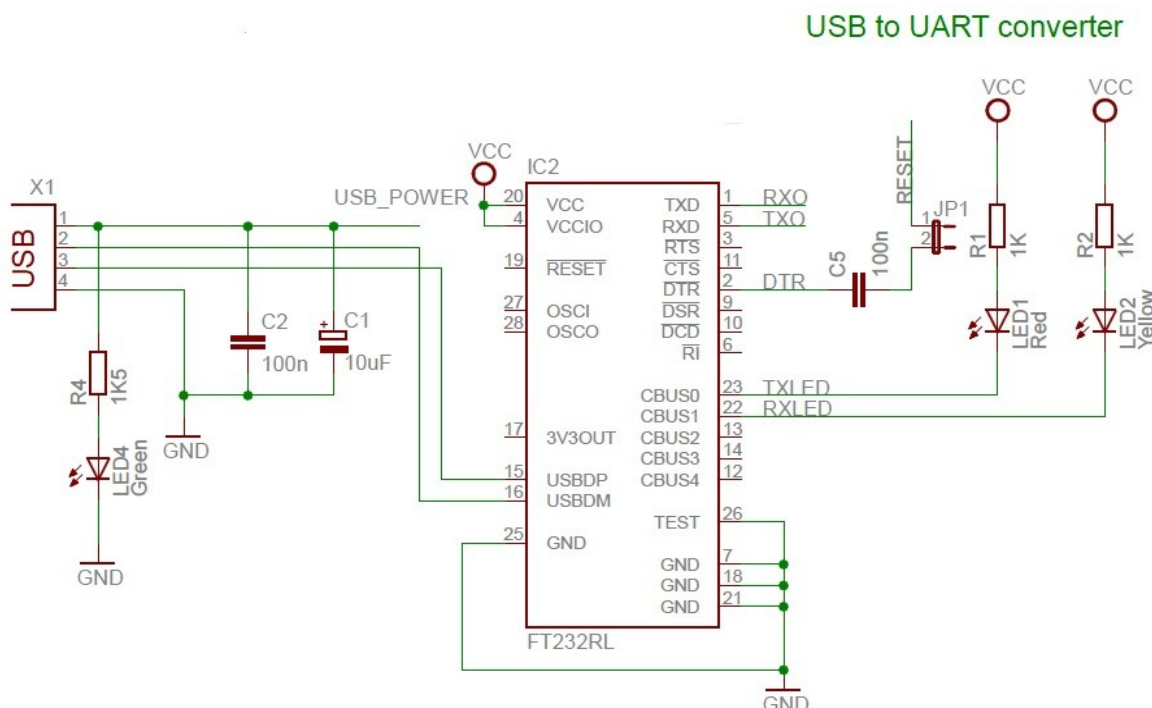
V předchozích kapitolách byly uvedeny komponenty, které tvoří vestavěný systém. Tato kapitola se zabývá schématy zapojení jednotlivých komponent a jejich popisem.

7.1. Schémata zapojení centrální jednotky



Obr. 24 Schéma pro napájecí část [13]

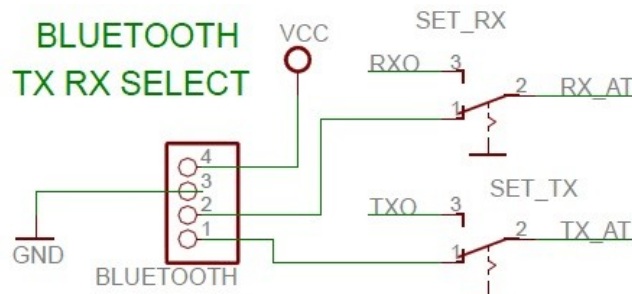
Obrázek 24 popisuje napájecí část, schéma obsahuje konektor, stabilizátor, indikační LED pro signalizaci připojeného napětí na konektor a přepínač, který volí, odkud bude přístroj napájen. Pokud bude přepínač SET_POWER v poloze 3-2, obvod bude napájen z USB konektoru viz obrázek 25, v opačném případě bude napájen z baterie. Napětí VCC je rovno výstupnímu napětí stabilizátoru 7805T, +5V nebo napětí USB +5V.



Obr. 25 Schéma převodníku USB na UART [14][15]

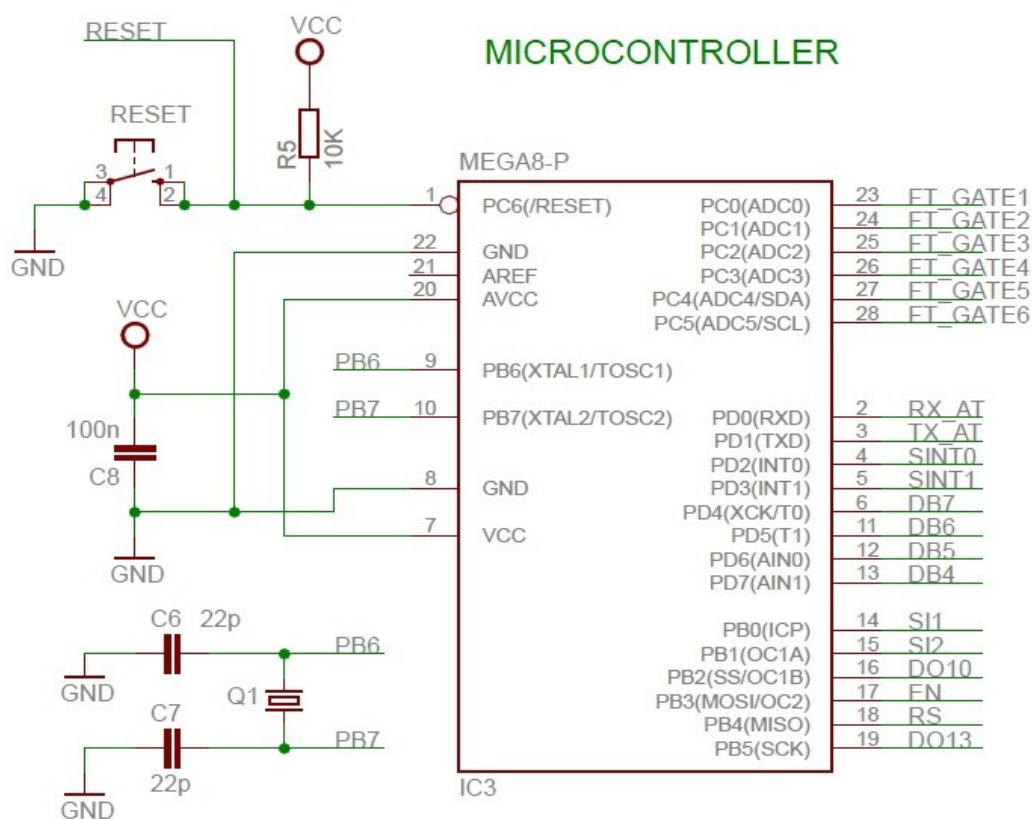
Obrázek 25 popisuje zapojení převodníku, v levé části se nachází USB konektor, který může sloužit pro napájení přípravku, LED4 slouží pro indikaci připojeného USB kabelu. Integrovaný obvod IC2 je samotný převodník, ke kterému jsou připojeny USB datové vodiče D+ a

D- (piny 15 a 16) , výstupem z převodníku jsou piny TXD a RXD (piny 1 a 5). LED1 a LED2 připojené na piny 23 a 22, slouží k indikaci prováděné komunikace. Jumper JP1 povoluje reset MCU. Schéma převodníku slouží hlavně pro sériové programování MCU a také pro sériovou komunikaci s PC přes USB kabel.



Obr. 26 Schéma zapojení Bluetooth konektoru + výběr komunikace

Obrázek 26 popisuje zapojení Bluetooth konektoru. Přepínače SET_RX a SET_TX volí, jestli MCU komunikuje přes USB kabel nebo přes Bluetooth.



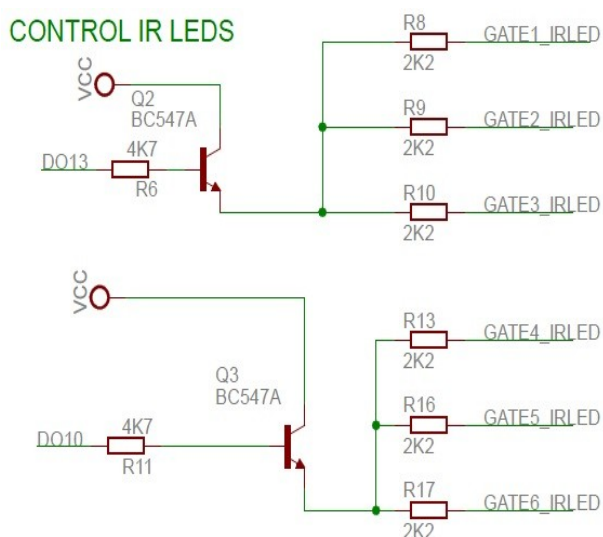
Obr. 27 Schéma zapojení MCU [14]

Obrázek 27 popisuje zapojení MCU. MCU může být resetován, buď pomocí USB převodníku nebo pomocí tlačítka RESET (Pull up rezistor, pin 1). Pro svou činnost potřebuje napájení připojené na piny VCC, AVCC a GND (piny 7, 20 a 22), dále také krystal Q1 připojený na piny 9 a 10. Ostatní periférie MCU popisuje tabulka 7.

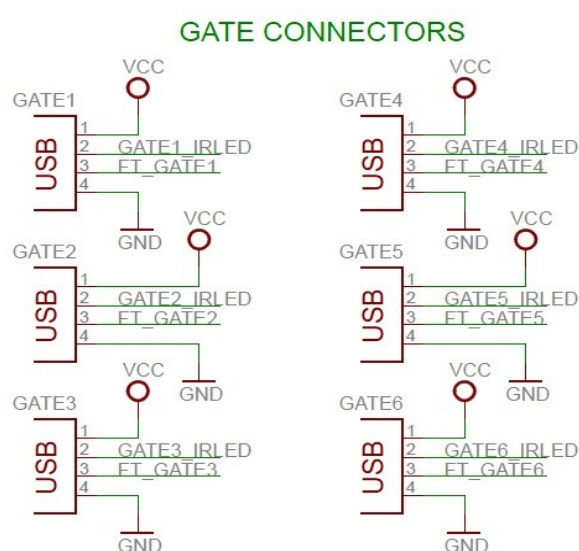
Pin	Periférie	Pin	Periférie
2	UART komunikace RX	16	Řídící pin pro IR LED, brány 4-6
3	UART komunikace TX	17	Enable pin pro LCD displej
4	Řídící tlačítko SINT0	18	RS pin pro LCD displej
5	Řídící tlačítko SINT1	19	Řídící pin pro IR LED, brány 1-3
6	Datový vodič pro LCD displej DB7	23	Analogový signál z fototranzistoru brány 1
11	Datový vodič pro LCD displej DB6	24	Analogový signál z fototranzistoru brány 2
12	Datový vodič pro LCD displej DB5	25	Analogový signál z fototranzistoru brány 3
13	Datový vodič pro LCD displej DB4	26	Analogový signál z fototranzistoru brány 4
14	Řídící tlačítko SI1	27	Analogový signál z fototranzistoru brány 5
15	Řídící tlačítko SI2	28	Analogový signál z fototranzistoru brány 6

Tab. 7 Připojené periférie k MCU

Řídící piny DO10 a DO13, povolují IR LED bran podle tabulky 7, rozdělení je provedeno z důvodu odběru proudu, kdyby byli IR LED spouštěny najednou, odebírali by spolu s ostatními částmi přípravku více než 500 mA, což nedovoluje USB protokol. Programově je tedy ošetřeno, že IR LED nikdy nesvítí najednou, to také vede k celkově menší proudové spotřebě přípravku (cca 300 až 350mA) a k delší výdrži baterií, které přípravek napájí.

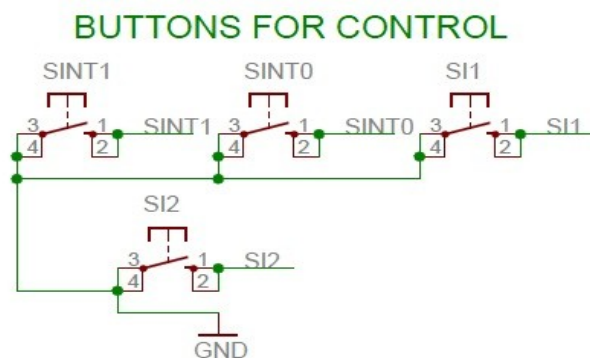


Obr. 29 Schéma pro řízení IR LED



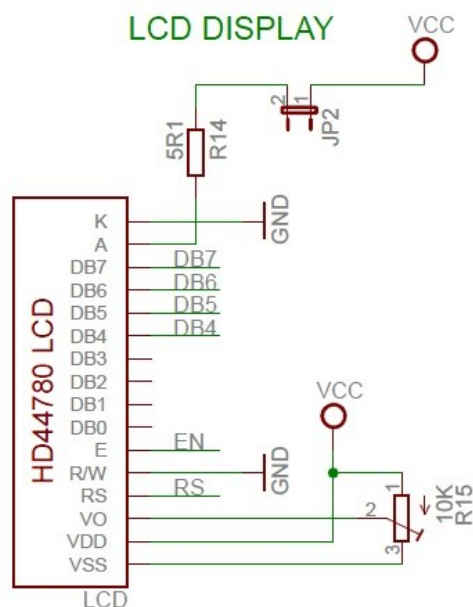
Obr. 28 Schéma zapojení konektorů pro brány

Obrázky 28 a 29 popisují propojení USB konektorů (brány) s řídícími piny MCU DO10 a DO13.



Obr. 30 Schéma zapojení řídicích tlačítek

Obrázek 30 popisuje zapojení řídicích tlačítek, tato tlačítka nejsou zapojena pomocí pull up rezistorů, protože digitální piny MCU již pull up rezistory obsahují. Příslušné piny lze programově nastavit jako „INPUT_PULLUP“.



Obr. 31 Schéma zapojení LCD displeje [16]

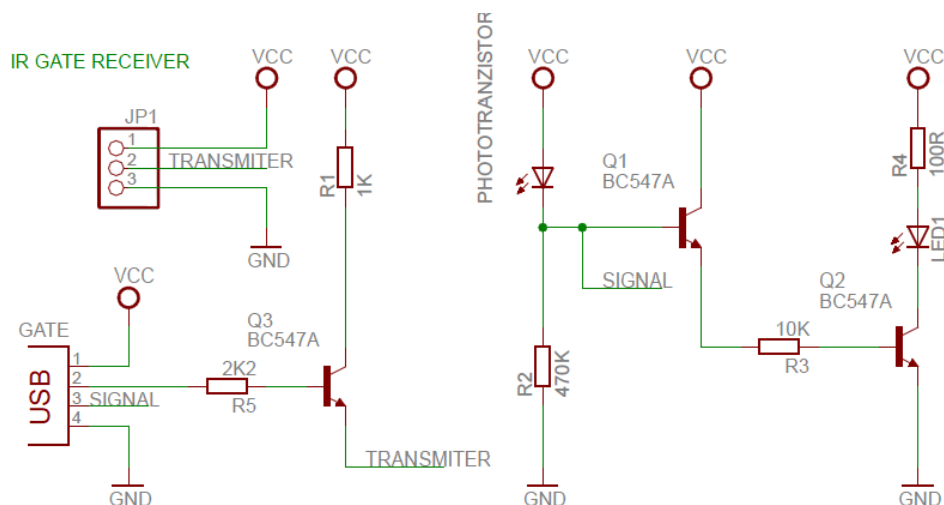
Na obrázku 31 je schéma zapojení LCD displeje. Trimr R15 slouží pro nastavení operačního napětí, respektive jasů LCD displeje. Jumper JP2 slouží k povolení podsvícení displeje.

Schémat na obrázcích 24 – 31 tvoří zapojení centrální jednotky, do které se pomocí USB kabelů připojují brány (viz obrázek 28). Do centrální jednotky se dále přivádí vstupní napětí buď pomocí USB kabelu z PC, nebo pomocí konektoru pro baterii. Poslední připojitelnou periferií je Bluetooth modul (viz kapitola 5.2). Celkové schéma zapojení viz příloha A. Návrh desky plošného spoje viz příloha B.

7.2. Schéma zapojení IR brány

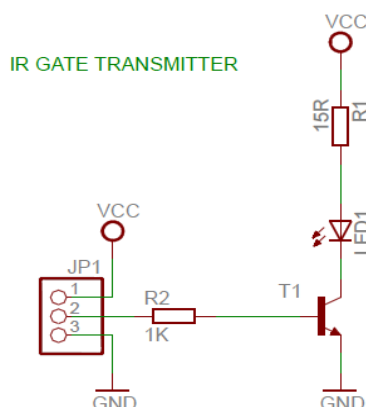
Obrázek 32 popisuje zapojení přijímače IR brány. Centrální jednotka napájí přijímač pomocí USB kabelu. Konektor JP1 přenáší napájecí napětí a signál z digitálních pinů MCU DO10 a DO13 (viz obrázek 28 a 29) do vysílače IR brány. Signál z fototranzistoru je pomocí USB kabelu zpětně přenášen k MCU a je také zesílen pomocí tranzistorů Q1 a Q2. Tranzistor Q2 následně řídí jas LED1, která indikuje intenzitu IR záření dopadajícího na fototranzistor (LED1 slouží ke kalibraci brány při instalaci časomíry).

Rezistor R2 je velice důležitý pro otevírání fototranzistoru, jeho hodnota omezuje proud protékající fototranzistorem, který je v přímé úměře s intenzitou osvětlení. Jinak řečeno, čím menší proud protéká fototranzistorem, tím menší intenzita osvětlení je potřebná pro jeho otevření. Je to jeden z faktorů, které ovlivňují možnou vzdálenost mezi vysílací a přijímací stranou IR brány.



Obr. 32 Schéma zapojení přijímače IR brány

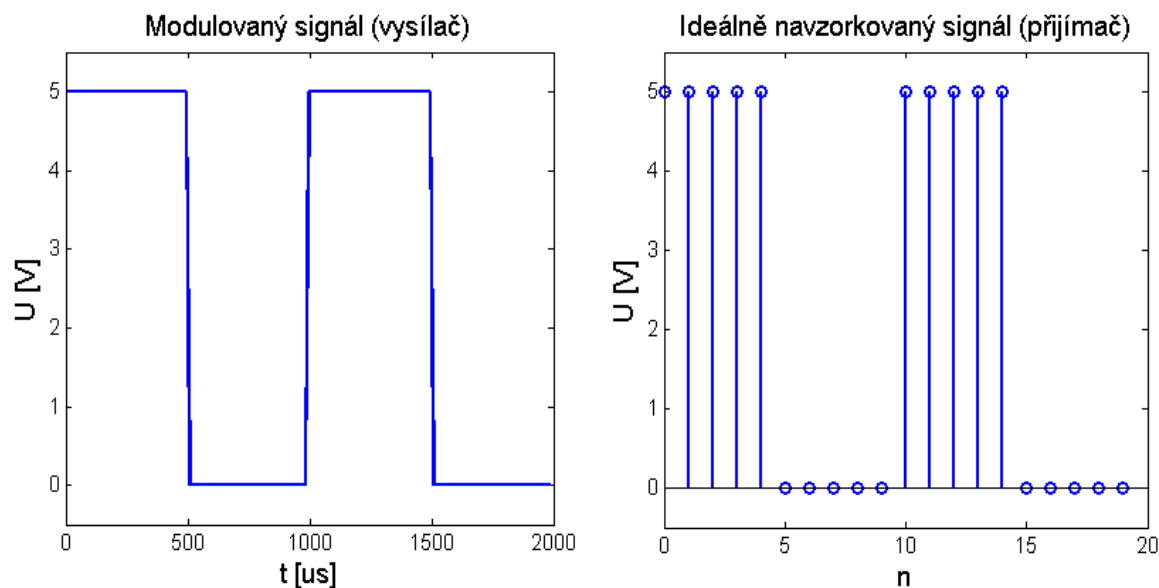
Obrázek 33 popisuje zapojení vysílače IR brány. Signál přenášený z pinu MCU přes přijímač otevírá tranzistor T1, který ovládá IR LED. Dalším faktorem ovlivňující vzdálenost mezi vysílací a přijímací stranou IR brány je samotná IR dioda. Svítivost diody je závislá na protékajícím proudu v přímé úměře. Většinou jsou hodnoty protékající konstantního proudu okolo 100 mA, ale v případě, že je proud modulovaný na určitou frekvenci, může diodou protékat proud až stovky mA. Tyto hodnoty udávají výrobci IR diod v datasheetu.



Obr. 33 Schéma zapojení vysílače IR brány

8. Měření analogového signálu z fototranzistoru a měření časových intervalů

Základem pro celé měření je správná detekce a správný rozbor analogového signálu měřeného z fototranzistoru přijímače IR brány. Měření se provádí pomocí analogových pinů MCU, tyto piny obsahují A/D převodník. MCU Atmega 328 obsahuje 10-ti bitový A/D převodník, to znamená $2^{10} = 1024$ kvantovacích úrovní. Měřený signál se pohybuje v rozmezí 0 – 5V, z toho tedy vyplývá kvantovací krok $q = 5/1024 \cong 0,0049 \text{ V}$. Výsledné napětí je tedy rovno číslu, které bylo naměřeno převodníkem, a následně vynásobeno kvantovacím krokem. Doba, za kterou převodník získá jeden vzorek, je rovna $100 \mu\text{s}$, maximální možná frekvence vzorkování je tedy rovna $F_s = 10000 \text{ kS/s}$. [17]



Obr. 34 Popis modulace a vzorkování

Obrázek 34 vlevo popisuje průběh napětí na IR diodě, perioda signálu je rovna 1 ms což odpovídá frekvenci 1000 Hz, v pravé části obrázku je již navzorkovaný signál z fototranzistoru. Lze tedy ověřit správnost vzorkování. Při frekvenci původního signálu 1000 Hz je zřejmé, že při vzorkovací frekvenci 10000 Hz, počet naměřených vzorků za jednu periodu dosáhne hodnoty 10 ($N=10$). Navzorkovaný signál tvoří pole hodnot, se kterým dále MCU pracuje.

8.1. DFT (Discrete Fourier Transform)

Jednou z metod jak zpracovat naměřený signál je Diskrétní Fourierova transformace, která převádí signál s diskrétním časem do frekvenční oblasti. Díky této metody můžeme získat amplitudové, výkonové a fázové frekvenční spektrum signálu. Rovnice 8.1.0 popisuje její základní definici.

$$X[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-jkn 2\pi/N} \quad (8.1.0)$$

Pro implementaci vzorce v jazyce C je potřeba výraz zjednodušit pomocí Eulerova vzorce, popsany rovnicí 8.1.1.

$$e^{ix} = \cos(x) + i\sin(x) \quad (8.1.1)$$

Následuje rozdělení výpočtu na reálnou a imaginární část komplexního čísla $X[k]$.

$$X[k] = X_{re}[k] + jX_{im}[k] \quad (8.1.2)$$

Kde reálná část je:

$$X_{re}[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cos\left(\frac{jk n 2\pi}{N}\right) \quad (8.1.3)$$

A imaginární:

$$X_{im}[k] = - \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \sin\left(\frac{jk n 2\pi}{N}\right) \quad (8.1.4)$$

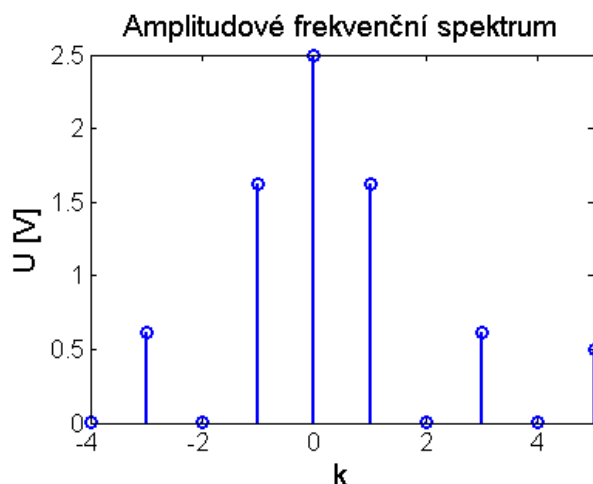
Díky těmto rovnicím je možno naimplementovat C kód, který je uvedený níže.

```

startTime = micros();                                //micros() počítá čas v us od startu MCU
int N=10;                                             //N počet vzorků na periodu
float measure[N],amplitude[N],Xre[N],Xim[N];
int n2=N/2;
//Měření (vzorkování signálu)
for(int i=0;i<N;i++){
    measure[i]=analogRead(A3);                      //měření z analogového pinu 3
}
//DFT
for(int k=0;k<N;k++) {
    Xre[k]=0;
    Xim[k]=0;
    for(int n=0;n<N;n++){
        Xre[k]+=measure[n]*cos((n*k*6.2832)/N);
        Xim[k]+=-measure[n]*sin((n*k*6.2832)/N);
    }
    amplitude[k]=sqrt(Xre[k]*Xre[k]+Xim[k]*Xim[k])/N; //Výpočet amplitudy
}
//fftshift
for(int i=0;i<n2;i++){
    {
        float temp = amplitude[i];
        amplitude[i] = amplitude[i+n2];
        amplitude[i+n2]=temp;
    }
}
Serial.println(micros()-startTime);                 //Výpis doby trvání DFT metody

```

Kód naměří pole hodnot, následně provede DFT a poté provede cyklus FFTshift, který nulovou frekvenci přesune do středu pole, tudíž pak vznikne oboustranné amplitudové frekvenční spektrum.[18]



Obr. 35 Amplitudové frekvenční spektrum

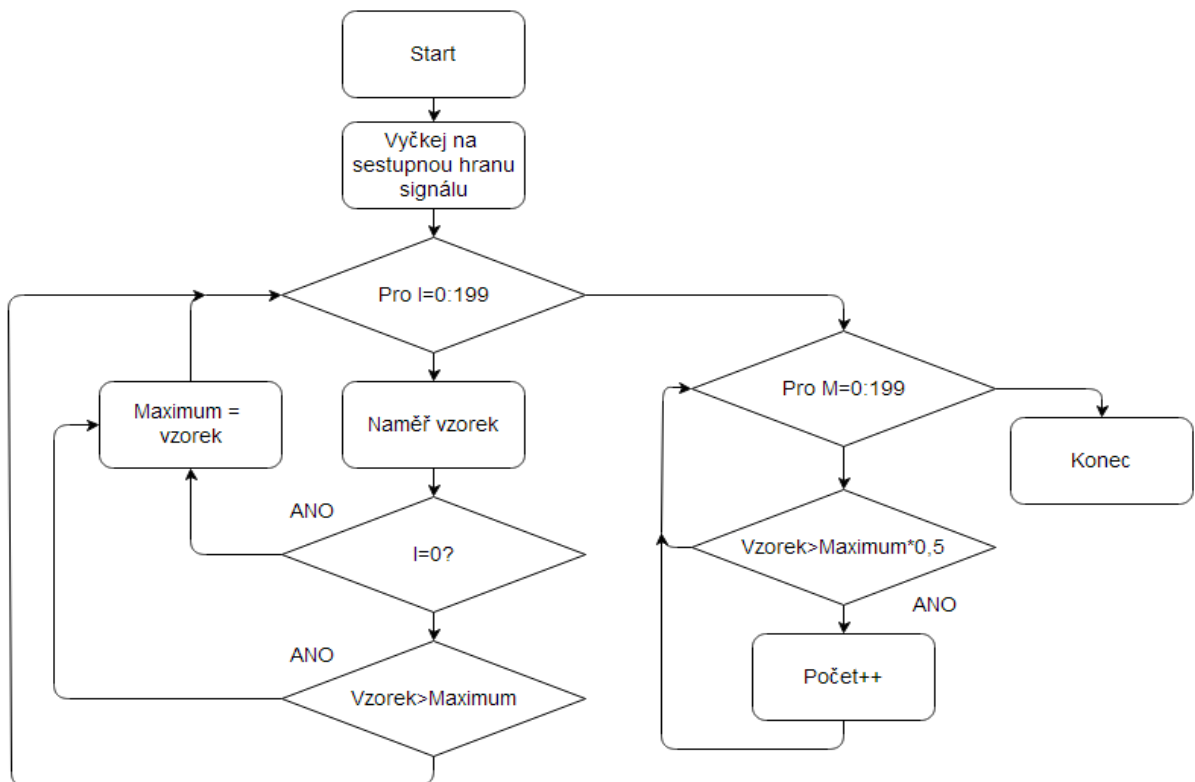
Obrázek 35 zobrazuje amplitudové frekvenční spektrum signálu z obrázku 34 (vpravo) pro počet vzorků rovný 10. V případě, že by osa x měla obsahovat frekvenci, musí se použít vzorec $f = F_s \cdot k / N$, rozlišovací frekvenční krok pro $N=10$ je 1000 Hz, pro přesnější krok je potřeba zvýšit počet naměřených vzorků N . Poté lze jednotlivé harmonické signálu přiřadit ke správné frekvenci. Pro detekci přítomnosti signálu na straně přijímače ovšem postačí osa x s k . Důležité je, že tvar spektra má podobný charakter, jestliže přijímač přijímá správný signál. Pakliže přijímač nepřijímá signál, amplitudy jednotlivých harmonických poklesnou a změní se tvar spektra, díky toho se zaznamená překážka mezi přijímačem a vysílačem.

DFT na MCU má jistou nevýhodu, která vyplývá z výpočetního výkonu MCU, algoritmus popsany na straně 23 je náročný na matematické operace a trvá přibližně 40000 μs , což je pro $N=10$ relativně dlouhá doba. Tato doba způsobí při měření chybu 4 setiny sekundy (odezva brány). Proto se nabízí možnost zjednodušení algoritmu detekující signál.

8.2. Porovnávací metoda

Metoda spočívá v určení komparační hodnoty a rozdělení signálu na binární signál, jinak řečeno metoda projde pole naměřených hodnot, najde v nich maximální hodnotu, ze které vytvoří komparační hodnotu. Následně pole projde znovu a spočítá, kolikrát byla hodnota vzorku větší než komparační hodnota.

Metodu popisuje vývojový diagram na obrázku 36. Po startu se čeká na logickou 0 na pinu DO10 nebo DO13 (podle brány kterou měříme), poté se vzorkuje signál a ukládá se do pole, zároveň se při vzorkování hledá maximální hodnota. Po dokončení vzorkování se spočítá kolik vzorků je nad $0,5 \cdot \text{Maximum}$, tento počet udává stav brány. Pokud je počet blízko 0, tak je brána připojená k centrální jednotce, ale přijímač nepřijímá signál, jestliže je počet blízko 100, brána je připojena a vysílač dosvítí na přijímač a poslední případ, pokud je blízko 200, tak brána není připojená k centrální jednotce.



Obr. 36 Vývojový diagram porovnávací metody

Výhodou této metody je, že MCU vykonává pouze základní operace (A/D převod, součet, porovnání hodnot) což vede k menší potřebné době pro vykonávání algoritmu. Tento algoritmus trvá přibližně 20 ms, tudíž způsobuje menší chybu při měření.

8.3. Měření časových intervalů

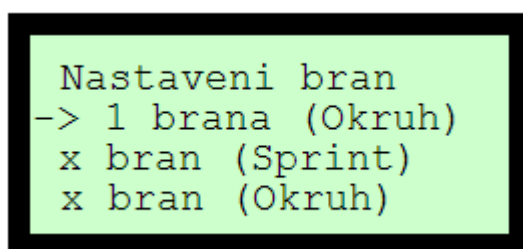
V kapitole 8.1 a 8.2 byli uvedeny metody, jakými lze detekovat přítomnost tělesa v příslušné IR bráně. Tato kapitola se bude zabývat měřením časových intervalů pomocí MCU. Časový interval, myšleno čas, za který těleso urazí dráhu od jedné IR brány k druhé IR bráně, nebo čas od protnutí IR brány k dalšímu protnutí stejné brány (měření časů na kolo pomocí jedné brány).

MCU Atmega 328 obsahuje čítač reálného času, který čítá mikrosekundy nebo milisekundy od startu MCU. V prostředí Arduino se k těmto časům přistupuje pomocí `millis()` nebo `micros()`. Nabízí se tedy možnost použít `micros()` pro větší přesnost, nicméně tyto časy se ukládají do 32 bitového čísla unsigned long, maximální hodnota tohoto čísla je tedy $2^{32} = 4294967296$, po převodu čísla na minuty (v případě `micros()`) se dostaneme na cca 70 min, po této době dojde k přetečení a resetování zásobníku. Resetování čísla `micros()` by zmařilo celé měření, proto je nezbytné použít `millis()`, kde se číslo vyresetuje za cca 50 dnů.

Princip měření je jednoduchý. Při protnutí brány na začátku měřeného úseku se do proměnné uloží aktuální `millis()`, při protnutí brány na konci úseku se odečte od současné hodnoty `millis()` předchozí čas uložený v proměnné. Výsledek reprezentuje čas v milisekundách, za který těleso urazilo vytyčený úsek.

9. Módy měření pomocí optického časoměrného systému

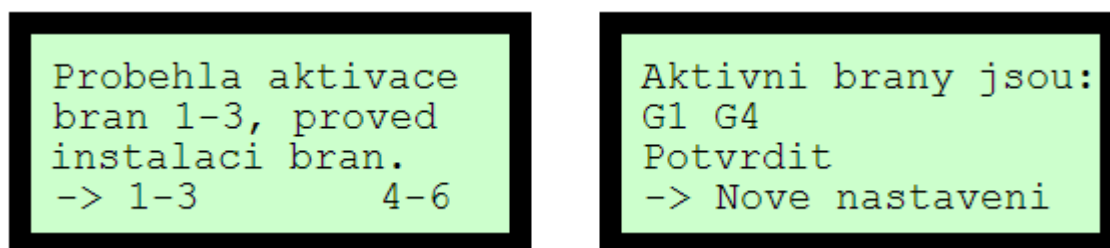
Optický časoměrný systém umožňuje připojit až 6 IR bran. Ne vždy je potřeba mít všechny brány připojeny, lze měřit pomocí libovolného počtu bran nebo třeba i pomocí jediné brány. Proto časomíra umožňuje uživateli výběr z více módů měření. Jeden z módů je měření časového úseku pomocí jedné brány (čas na kolo), další mód je měření kola pomocí více bran, kde je možno měřit i mezičasy. Posledním módem je měření sprintu (z bodu A do bodu B), který v případě, že jsou připojeny alespoň tři brány, umožní měřit i mezičas respektive mezičasy. Pro nastavení a zjištění počtu připojených bran slouží mód kalibrace (Nastavení bran). Po spuštění časomíry se na LCD displeji objeví obrazovka hlavního menu, viz obrázek 37, který umožní uživateli vybrat mód.



Obr. 37 Obrazovka hlavního menu časomíry

9.1. Mód kalibrace (Nastavení bran)

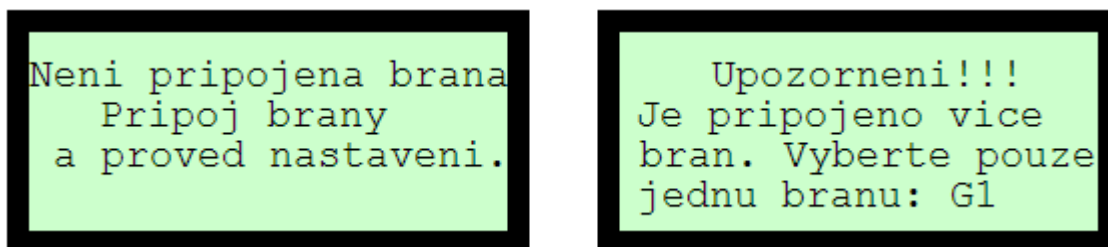
Po vstupu do módu kalibrace je na displeji zobrazena obrazovka, viz obrázek 38 vlevo, která informuje o aktivaci bran. Po aktivaci uživatel nainstaluje IR brány a potvrdí obrazovku. Následuje kalibrace, při které si časomíra projde všechny USB konektory pro brány (změří signál na příslušném analogovém pinu MCU) a zobrazí obrazovku se stavem bran, viz obrázek 38 vpravo. Pokud je brána správně nastavená a přijímač, přijímá signál, tak se zobrazí na druhém řádku displeje seznam aktivních bran, jestliže je vše v pořádku tak po potvrzení obrazovky se program vrací do hlavního menu.



Obr. 38 Obrazovka menu kalibrace

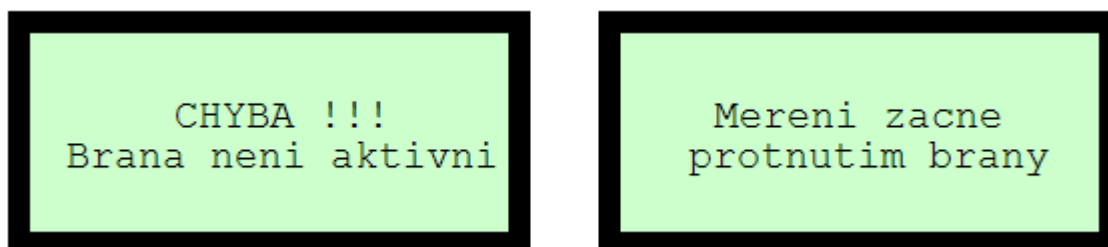
9.2. Mód měření pomocí jedné brány

Při vstupu do módu, se nejprve provede automatická kalibrace, která zjistí aktivní brány připojené k časomíře. V případě, že není připojena žádná brána, časomíra upozorní uživatele. Pokud je připojena pouze jedna brána, program časomíry umožní přejít do menu tohoto módu a bere tuto bránu jako měřicí. Jestliže nastane případ, kdy je připojeno více bran, časomíra vyzve uživatele, aby vybral, pomocí které brány chce provést měření. Obrazovky zobrazené pro jednotlivé stavy, popisuje obrázek 39.



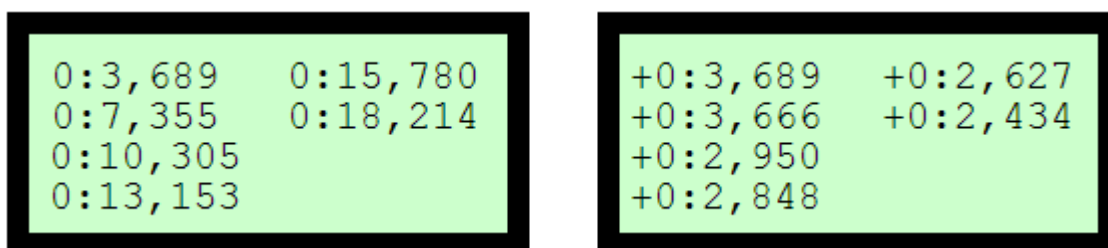
Obr. 39 Obrazovky upozornění před vstupem do menu módu měření pom. jedné brány

Po vstupu do menu je uživatel vyzván k zadání počtu kol, které chce měřit. Jakmile potvrdí obrazovku, časomíra provede ověření, zda je příslušná brána aktivní, pokud není, objeví se obrazovka upozornění. Během nastavování kol se může stát, že se z nějakého důvodu přeruší signál detekovaný přijímačem. Časomíra tedy vyčká na opravu brány, a pokud již přijímá signál, zobrazí obrazovku, že měření může začít.



Obr. 40 Obrazovka pro chyb. hlášení před začátkem měření + obrazovka pro start měření

Po protnutí brány se na displeji spustí časomíra. Jednotlivé časy úseků se zobrazují postupně pod sebe od levého horního rohu, po pravý dolní roh LCD displeje. LCD displej dokáže zobrazit až 8 naměřených hodnot. Navíc umožní přepínat obrazovky mezi celkovými časy nebo časy každého měřeného úseku zvlášť, viz obrázek 41. Pokud MCU naměří deváté kolo, tak resetuje obrazovku a zobrazuje časy dále ve stejném sledu. Při měření devíti kol a více přicházíme o naměřené časy, protože naměřené hodnoty nelze ukládat přímo v MCU (paměť RAM je nedostatečná). Pro ukládání dat slouží vizualizace v PC, která je popsána v dalších kapitolách.

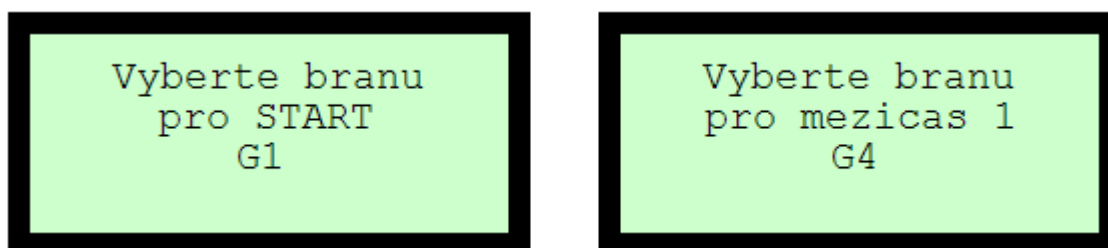


Obr. 41 Obrazovka naměřených časů

9.3. Mód měření kol pomocí více bran

Stejně jako v předchozím módu, se při začátku provede automatická kalibrace. Jestliže jsou připojeny alespoň dvě brány, časomíra přejde do menu. Pokud ne, objeví se podobné upozornění jako na obrázku 39 vlevo. V menu, je uživatel vyzván ke konfiguraci bran (viz obrázek 42), to znamená, která brána bude sloužit pro start, která brána bude pro mezičas 1-5 (podle počtu

připojených bran). Po konfiguraci časomíra přejde na obrazovku se zadáváním počtu kol. Před začátkem měření provede test zda-li jsou vybrané brány aktivní. Pokud ne objeví se hlášení podobné obrázku 40 vlevo, rozdíl je pouze v tom, že časomíra upozorní přesně, která z bran není aktivní. Následuje spuštění časomíry, kde se časy vypisují stejně, jako je na obrázku 41, s tím rozdílem, že při každém protnutí start brány se u času zobrazí *, která značí začátek nového kola.



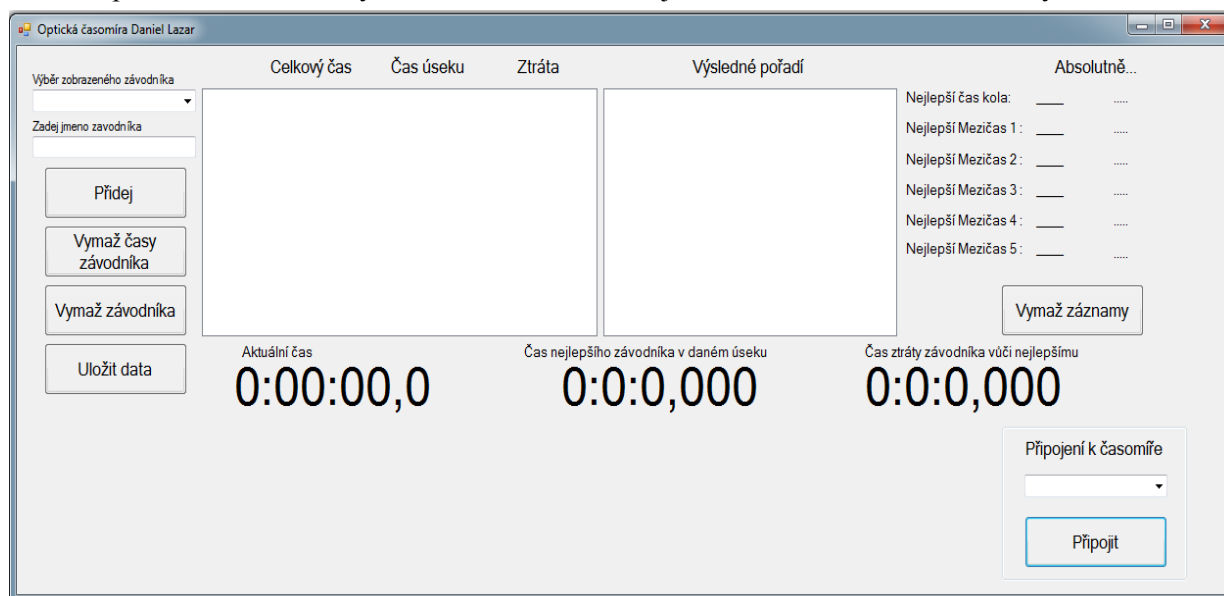
Obr. 42 Obrazovky pro výběr bran

9.4. Mód sprint

Při vstupu do módu platí stejný postup jako u předchozích módů. Časomíra zjistí aktivní brány, uživatel nastaví brány pro start, mezičasy 1-4 (podle počtu připojených bran) a jako cílová brána se vždy nastaví poslední nevybraná brána. Mód sprintu je jediný, který se dá celý naměřit přímo na časomíře. Všechny 5 maximálně možných časů se dá na LCD displeji zobrazit.

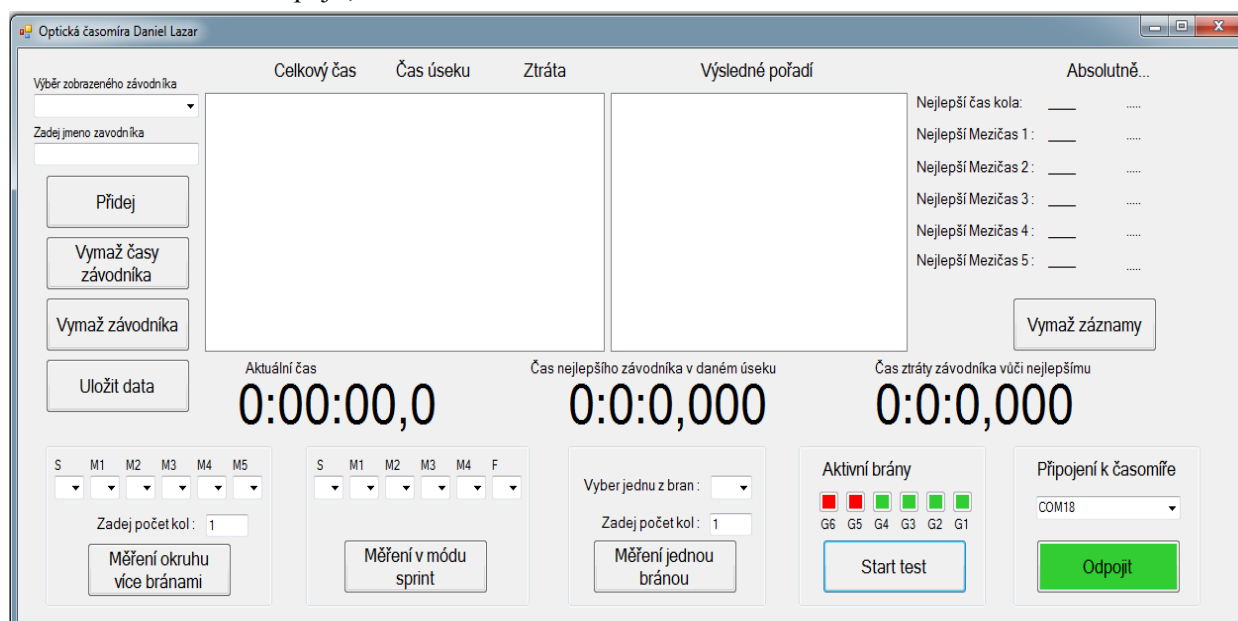
10. Popis vizualizace optického časoměrného systému

Samotná časomíra s MCU dokáže naměřit data, nicméně nedokáže dále s daty pracovat. Proto se nabízí možnost zpracovávat data pomocí PC. Pro přenos dat je využita komunikace pomocí sériové linky. Časomíra tedy při každé změřené hodnotě vyšle data, které převezme a zpracuje PC. Pro zpracování slouží Windows form aplikace naprogramovaná v C#, která zároveň slouží pro ovládání časomíry. Ovládání z vizualizace je nadřazeno ovládání z časomíry.



Obr. 43 Vizualizace neaktivní (nepřipojená)

Obrázek 43 zobrazuje nepřipojenou vizualizaci. V pravém spodním rohu se nachází menu, pomocí kterého se lze připojit k časomíře. Combobox vyhledává všechny dostupné COM porty připojené k PC. Po vybrání COM portu a stisku tlačítka Připoji se vizualizace připojí k časomíře. Parametry COM portu (baudrate, databit, stopbit, parita) jsou trvale nastaveny, tak aby bylo vše v souladu s Bluetooth modulem a časomírou. Správně připojenou vizualizaci k časomíře, indikuje zezelenání tlačítka Připojit, viz obrázek 44.



Obr. 44 Vizualizace připojená

Po připojení vizualizace se ve spodní části zobrazí možnosti ovládání. Základem je menu Aktivní brány. Tlačítkem Start test se začnou testovat brány na časomíře. Připojená brána je značena zeleným čtverečkem, připojená, ale neaktivní bílým a nepřipojená červeným. Pokud je připojena pouze jedna brána zobrazí se pouze menu pro Měření jednou bránou. Pro zobrazení menu Měření okruhu více bránami nebo Měření v módu sprintu je potřeba připojit alespoň dvě aktivní brány.

Před začátkem měření musí uživatel založit nového závodníka pomocí menu v levé horní části vizualizace. Po napsání jména a kliknutí tlačítka Přidej, se závodník přidá do seznamu. Combobox Výběr zobrazeného závodníka zobrazuje naměřená data v listu uprostřed vizualizace. Měření může začít v případě, že list vybraného závodníka neobsahuje data. Tlačítka Vymaž závodníka a Vymaž časy závodníka, slouží pro případ, že se nepodařilo korektně naměřit data. V případě, že závodník obsahuje data a je stisknuto jedno z těchto tlačítek dojde k přepočítání výsledného pořadí.

Uživatel vizualizace následně volí mód měření. Musí se v menu vybrat brána respektive brány, kterými se bude měřit a musí se zadat počet kol (u módu kde se měří okruhy). Po stisku tlačítka pro příslušný mód se odešlou data časomíře, která nastaví vybraný mód. Poté časomíra vyše zprávu, že je připravena měřit a následně ve vizualizaci zezelená tlačítko příslušného módu.

Po protnutí start brány se spustí čas (popisek 0,00,00,0 v levo), popisek 0:00:00,000 uprostřed ukazuje čas nejlepšího závodníka v daném měřeném úseku, poslední popisek (v pravo) zobrazuje ztrátu v měřeném úseku. Jednotlivé naměřené hodnoty se zobrazují v listu uprostřed, vypíše se celkový čas, čas daného měřeného úseku, a pokud je už naměřen alespoň jeden závodník, tak se zobrazí také čas ztráty na nejlepšího. List Výsledné pořadí seřazuje jednotlivé závodníky podle jejich času. V pravé horní části vizualizace jsou zobrazovány absolutně nejlepší časy měřených úseků. Během měření v módu Měření okruhu pomocí více bran, položka čas úseku nezobrazuje čas od posledního protnutí, ale časy pro celé kolo a jeho jednotlivé mezičasy, přesný příklad je kapitola 11.1. (výsledky měření).

Pro ukládání dat slouží tlačítko uložit, které otevře ukládací dialog a umožní uživateli zadat cestu k souboru. Naměřená data jsou poté uložena v textovém souboru.

11. Verifikace a testování

Pro test časomíry a její vizualizace poslouží případ, kdy je potřeba změřit čas tří okruhů a tří mezičasů v každém z nich, pro závodníky 1-3.

Vizualizace je nastavena v menu Měření okruhu více bránami. Pro S (start) je vybrána brána číslo 1, pro M1 (mezičas 1) brána číslo 2, pro M2 číslo 3 a pro M3 číslo 4. Počet kol je zvolen na číslo 3.

S M1 M2 M3 M4 M5
1 2 3 4
Zadej počet kol : 3
Měření okruhu více bránami

Obr. 45 Vizualizace nastavení

Optická časomíra Daniel Lazar

	Celkový čas	Čas úseku	Ztráta
Mezičas1:	0:00:06,554	0:00:06,554	+0:00:02,021
Mezičas2:	0:00:13,005	0:00:13,005	+0:00:00,800
Mezičas3:	0:00:22,654	0:00:22,654	+0:00:01,160
Kolo1:	0:00:27,364	0:00:27,364	+0:00:01,594
Mezičas1:	0:00:32,188	0:00:04,824	-0:00:00,659
Mezičas2:	0:00:36,714	0:00:09,350	+0:00:00,410
Mezičas3:	0:00:39,738	0:00:12,374	+0:00:00,661

Výběr zobrazeného závodníka: Závodník 3
Zadej jméno závodníka:
Přidej
Vymaž časy závodníka
Vymaž závodníka
Uložit data

Výsledné pořadí

1. Závodník 1	0:01:15,408	
2. Závodník 2	0:01:16,364	+0:00:00,956

Absolutně...

Nejlepší čas kola: 0:00:22,534 Závodník 2
Nejlepší Mezičas 1: 0:00:04,533 Závodník 1
Nejlepší Mezičas 2: 0:00:09,350 Závodník 3
Nejlepší Mezičas 3: 0:00:12,374 Závodník 3
Nejlepší Mezičas 4:
Nejlepší Mezičas 5:
Vymaž záznamy

Aktuální čas: 0:00:42,485
Čas nejlepšího závodníka v daném úseku: 0:00:48,478
Čas ztráty závodníka vůči nejlepšímu: +0:00:00,661

S M1 M2 M3 M4 M5
1 2 3 4
Zadej počet kol : 3
Měření okruhu více bránami

S M1 M2 M3 M4 F
1
Měření v módu sprint

Vyber jednu z bran :
Zadej počet kol : 1
Měření jednou branou

Aktivní brány
G6 G5 G4 G3 G2 G1
Start test

Připojení k časomíře
COM18
Odpojit

Obr. 46 Vizualizace časomíry během měření

Výsledkem měření je textový soubor obsahující hlavičku s datem a časem. Dále soubor obsahuje celkové výsledné pořadí závodníků a časy jednotlivých závodníků seřazené od nejlepšího. Obsah souboru je vypsán v následující kapitole.

11.1. Data naměřená optickým časoměrným systémem

Optická časomíra, Vysoká škola báňská

Měření dne: 2.5.2014 23:01:53

Výsledné pořadí

1. Závodník 3	0:01:12,824	
2. Závodník 1	0:01:15,408	+ 0:00:02,584
3. Závodník 2	0:01:16,364	+ 0:00:03,540

Závodník 3

Název	Celkový čas	Čas úseku	Ztráta oproti nejlepšímu
Mezičas1:	0:00:06,554	0:00:06,554	
Mezičas2:	0:00:13,005	0:00:13,005	
Mezičas3:	0:00:22,654	0:00:22,654	
Kolo1:	0:00:27,364	0:00:27,364	
Mezičas1:	0:00:32,188	0:00:04,824	
Mezičas2:	0:00:36,714	0:00:09,350	
Mezičas3:	0:00:39,738	0:00:12,374	
Kolo2:	0:00:45,408	0:00:18,044	
Mezičas1:	0:00:49,769	0:00:04,361	
Mezičas2:	0:00:58,298	0:00:12,890	
Mezičas3:	0:01:05,263	0:00:19,855	
Kolo3:	0:01:12,824	0:00:27,416	

Závodník 1

Název	Celkový čas	Čas úseku	Ztráta oproti nejlepšímu
Mezičas1:	0:00:04,533	0:00:04,533	-0:00:02,021
Mezičas2:	0:00:12,205	0:00:12,205	-0:00:00,800
Mezičas3:	0:00:21,494	0:00:21,494	-0:00:01,160
Kolo1:	0:00:25,770	0:00:25,770	-0:00:01,594
Mezičas1:	0:00:32,847	0:00:07,077	+0:00:00,659
Mezičas2:	0:00:36,304	0:00:10,534	-0:00:00,410
Mezičas3:	0:00:39,077	0:00:13,307	-0:00:00,661
Kolo2:	0:00:48,478	0:00:22,708	+0:00:03,070
Mezičas1:	0:00:58,808	0:00:10,330	+0:00:09,039
Mezičas2:	0:01:04,748	0:00:16,270	+0:00:06,450
Mezičas3:	0:01:09,893	0:00:21,415	+0:00:04,630
Kolo3:	0:01:15,408	0:00:26,930	+0:00:02,584

Závodník 2

Název	Celkový čas	Čas úseku	Ztráta oproti nejlepšímu
Mezičas1:	0:00:05,704	0:00:05,704	-0:00:00,850
Mezičas2:	0:00:11,723	0:00:11,723	-0:00:01,282
Mezičas3:	0:00:22,298	0:00:22,298	-0:00:00,356
Kolo1:	0:00:26,769	0:00:26,769	-0:00:00,595
Mezičas1:	0:00:33,709	0:00:06,940	+0:00:01,521
Mezičas2:	0:00:36,508	0:00:09,739	-0:00:00,206
Mezičas3:	0:00:41,219	0:00:14,450	+0:00:01,481
Kolo2:	0:00:49,303	0:00:22,534	+0:00:03,895
Mezičas1:	0:00:58,738	0:00:09,435	+0:00:08,969
Mezičas2:	0:01:04,598	0:00:15,295	+0:00:06,300
Mezičas3:	0:01:10,554	0:00:21,251	+0:00:05,291
Kolo3:	0:01:16,364	0:00:27,061	+0:00:03,540

12. Závěr

Výsledkem práce je plně funkční optický časoměrný systém, realizovaný na desce respektive deskách plošného spoje. Centrální jednotka obsahuje mikrokontrolér, který vše řídí, LCD displej pro základní komunikaci s uživatelem, ovládací tlačítka, konektory pro připojení bran a bezdrátový Bluetooth modul komunikující s PC. Důležitá část pro časomíru je optická brána tvořená infračervenou diodou (vysílač) a fototranzistorem (přijímač), pomocí které systém detekuje přítomnost těles v místech, kde jsou brány nainstalovány. Odezva brány při jejím protnutí se pohybuje kolem 20 ms. Časomíra na základě této detekce dokáže naměřit čas, za který těleso urazí dráhu vytyčenou pomocí jedné nebo dvou bran.

Časomíra nabízí měření ve třech různých módech, měření pomocí jedné brány, měření kol pomocí více bran a měření v módu sprintu. V oblasti malých počtu měřených kol nebo během měření v módu sprintu, dokáže zobrazit časy jednotlivých úseků na LCD displeji.

Pro dokumentaci naměřených hodnot slouží vizualizace. Vizualizace se umí připojit k časomíře, dokáže převzít data, zobrazit je a přiřadit pod jméno závodníka. Dále umožňuje nastavit a ovládat časomíru.

Prakticky lze časomírou měřit velké množství dat po relativně dlouhou dobu. Výsledkem je textový soubor obsahující hlavičku s datem a časem měření, dále obsahuje veškeré naměřené data, celkové pořadí závodníků a časy každého z nich.

Při napájení časomíry pomocí čtyř tužkových baterií s kapacitou 2500 mA/h lze časomírou při plném vytížení měřit až 8 hodin. Maximální proudový odběr se pohybuje okolo 300 mA.

Seznam použité literatury

1. Infračervené záření z pohledu fyziky. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://sun-of-hope-topne-panely.sunofhope.cz/pohled-fyziky.pdf>.
2. **TOKAR, Jan.** Zařízení pro pokusy s infračerveným světlem. [Online] 5. květen 2014. <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/04-22-Tokar.html>.
3. **Prauzek, Michal.** Číslicová a mikroprocesorová technika. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] http://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT_prauzek_final_1_1.pdf.
4. Wikipedia. *Arduino*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
5. Arduino. *Playground*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://playground.arduino.cc/>.
6. Atmega328P. [Online] ATMEL, 2009. [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>.
7. Arduino uno. *Arduino*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>.
8. **MALÝ, Martin.** Usb. *Hw.cz*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/rs-485-rs-422/usb-20-dil-1.html>.
9. **SVOBODA, Jirka.** Principy a perspektivity technologie Bluetooth. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] http://www.jirkasvoboda.com/publikace/publikace_1.pdf.
10. **TÁBORSKÝ, Roman.** Ovládání osvětlovačů pomocí rozhraní ZigBee. [Online] 2010. [Citace: 5. Květen 2014.] http://measure.feld.cvut.cz/cs/system/files/files/cs/vyuka/zaverecne_prace/DP_2010_Taborsky_Roman_locked.pdf.
11. **VOJÁČEK, Antonín.** ZigBee. *Hw.cz*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/zigbee-novinka-na-poli-bezdratove-komunikace.html>.
12. ATM2004D. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.gme.cz/img/cache/doc/513/125/mc2004b-syl-h-datasheet-1.pdf>.
13. L4940. [Online] STMicroelectronics, 1999. [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.gme.cz/img/cache/doc/330/067/l4940v05-datasheet-1.pdf>.
14. Arduino. *arduino-duemilanove-schematic*. [Online] 2009. [Citace: 5. Květen 2014.] <http://arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-duemilanove-schematic.pdf>.
15. FT232RL. [Online] Future Technology Devices International, 2005. [Citace: 5. Květen 2014.] <http://www.gme.cz/img/cache/doc/959/303/ft232rl-datasheet-1.pdf>.
16. Arduino. *Liquid Crystal*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://arduino.cc/en/Tutorial/LiquidCrystal>.
17. Arduino analog read. *Arduino*. [Online] [Citace: 5. Květen 2014.] <http://arduino.cc/en/Reference/analogRead>.

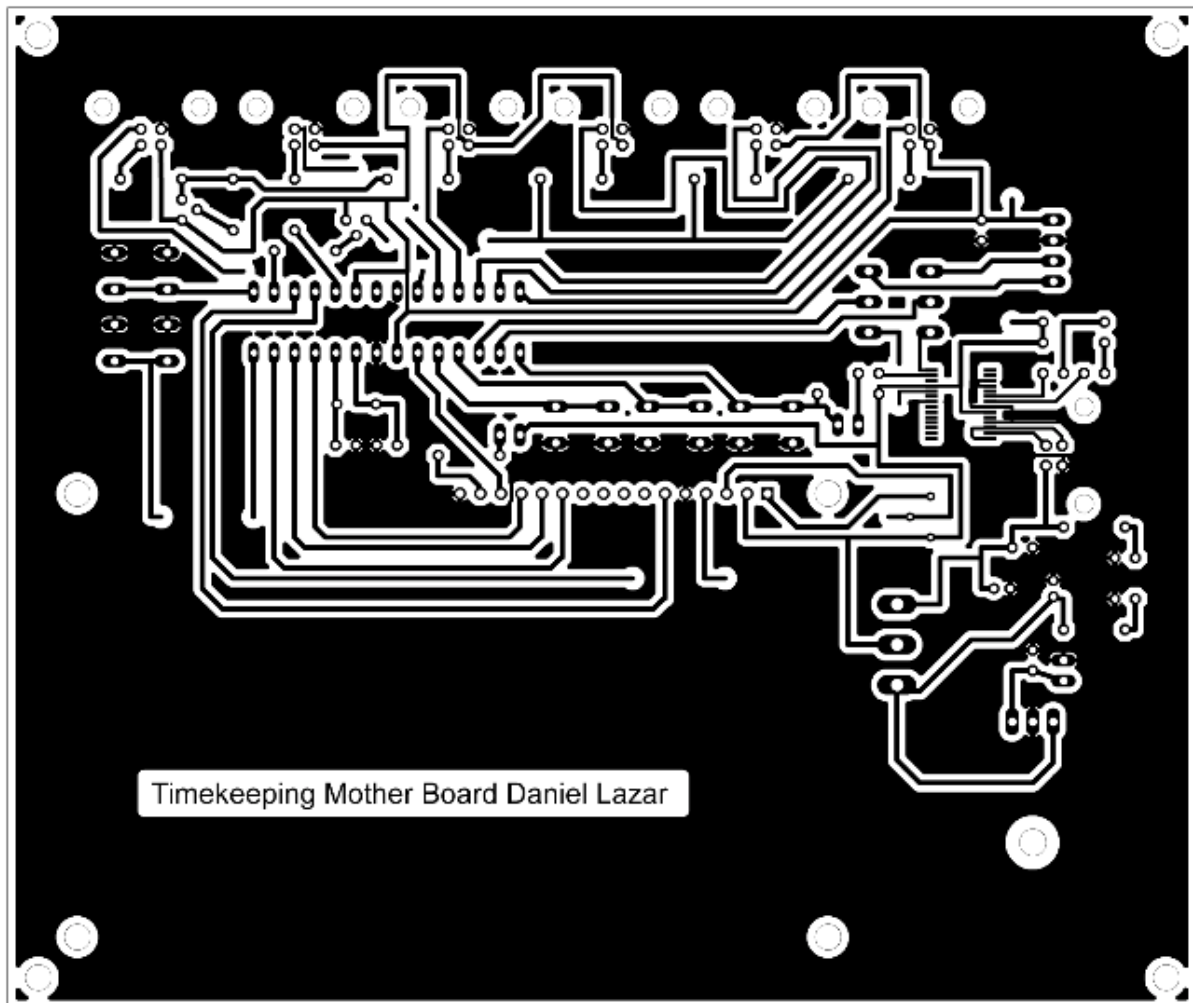
18. **BURKE, TED.** batchloaf.wordpress.com. *Simple DFT in C*. [Online] 12. Červenec 2013. [Citace: 5. Květen 2014.] <http://batchloaf.wordpress.com/2013/12/07/simple-dft-in-c/>.

A. Schéma zapojení centrální jednotky Optického časoměrného systému

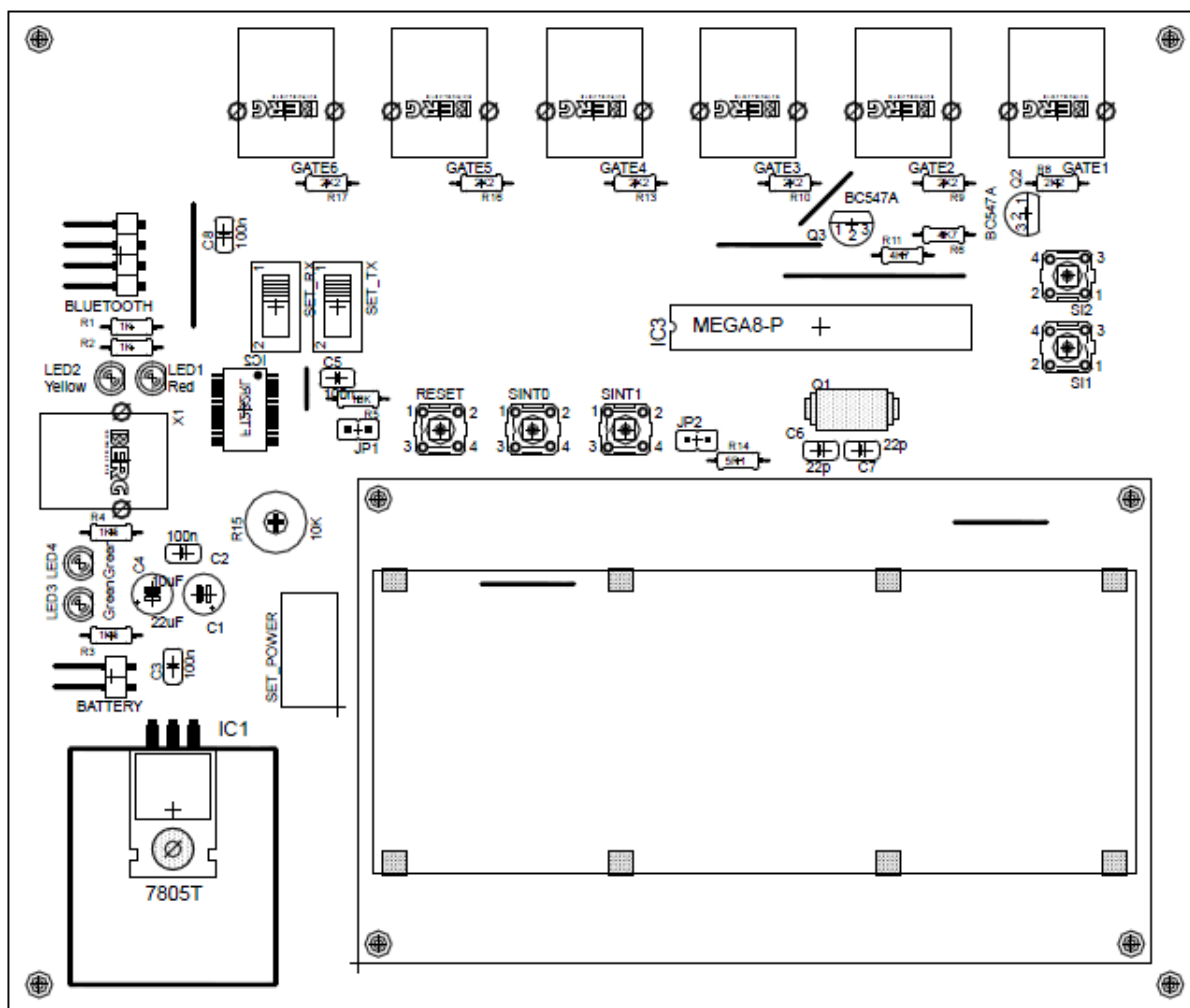


B. Desky plošných spojů

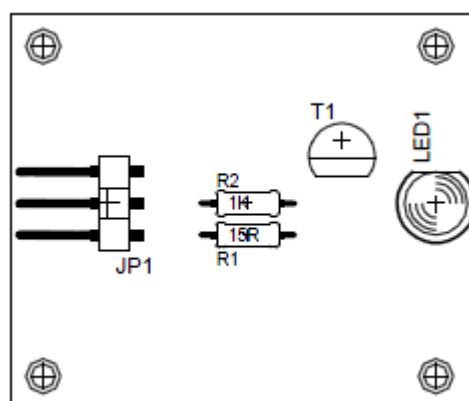
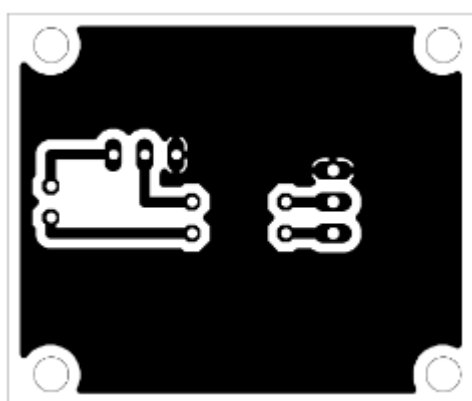
Motiv plošného spoje pro centrální jednotku (147,3 x 124,13 mm)



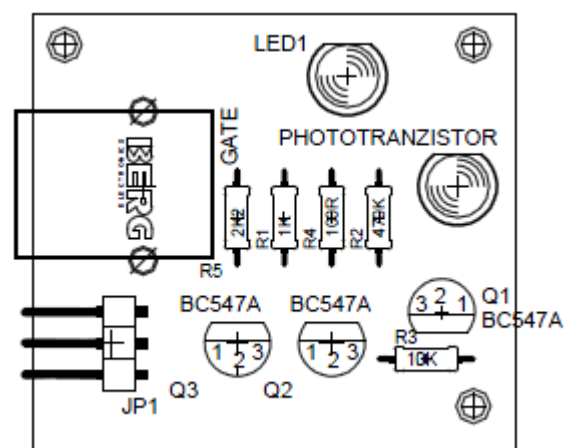
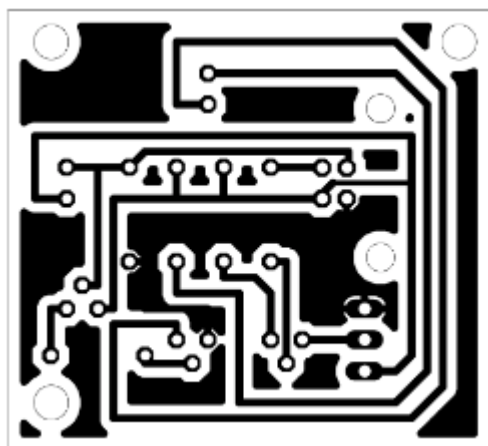
Rozložení součástek centrální jednotky. Součástka IC2 (převodník USB – UART) u konektoru X1, je zrcadlově otočená, protože je to smd součástka připájená ze strany plošného spoje.



Motiv a rozložení součástek vysílače.



Motiv a rozložení součástek přijímače.



C. Seznam součástek Optického časoměrného systému

Centrální jednotka

Značení	Hodnota	Pouzdro (název)	Popis
BATTERY	XINYA	PSH02-02WG	Konektor
BLUETOOTH	XINYA	PSH04-04WG	Konektor BT
X1, GATE1, GATE2, GATE3, GATE4, GATE5, GATE6	CONNFLY	USB1X90B PCB	USB konektory
R1, R2	1K	0207	Odpor
R3,R4	1K5	0207	Odpor
R5	10K	0207	Odpor
R6,R11	4K7	0207	Odpor
R8,R9,R10,R13,R16,R17	2K2	0207	Odpor
R15	10K	PT6VK010	Trimr lineární
C1	10uF/50V		Kapacita
C2,C3,C5,C8	100n/50V		Kapacita
C4	22uF/50V		Kapacita
C6,C7	22pF/100V		Kapacita
IC1	5V /1,5A	TO220/ L4940V05	Stabilizátor napětí
IC2	USB to UART	SSOP28/ FT232RL	Převodník
IC3		ATMEGA328P-PU	Mikrokontrolér
Q1	16 MHZ	HC49US	Krystal
JP1, JP2		Rozteč 2,54	Pinová lišta + Jumper
SET_RX, SET_TX	50V/0,5A	SS-12F51-G6	Přepínače
SET_POWER	250V/2A	P-B1407	Přepínač
Q2,Q3	NPN	TO92/ BC547A	Tranzistory
RESET,SINT0,SINT1, SI1,SI2	12V/0,05A	TC-0104	Tlačítka
LED1	Červená 2V/2mA	LED 3mm L-934LID	LED RX
LED2	Žlutá 1,9V/2mA	LED 3mm 2MA/Y	LED TX
LED3,LED4	Zelená 1,9V/2mA	LED 3mm L- 934LGD	LED indikující připojené napětí

Přijímač

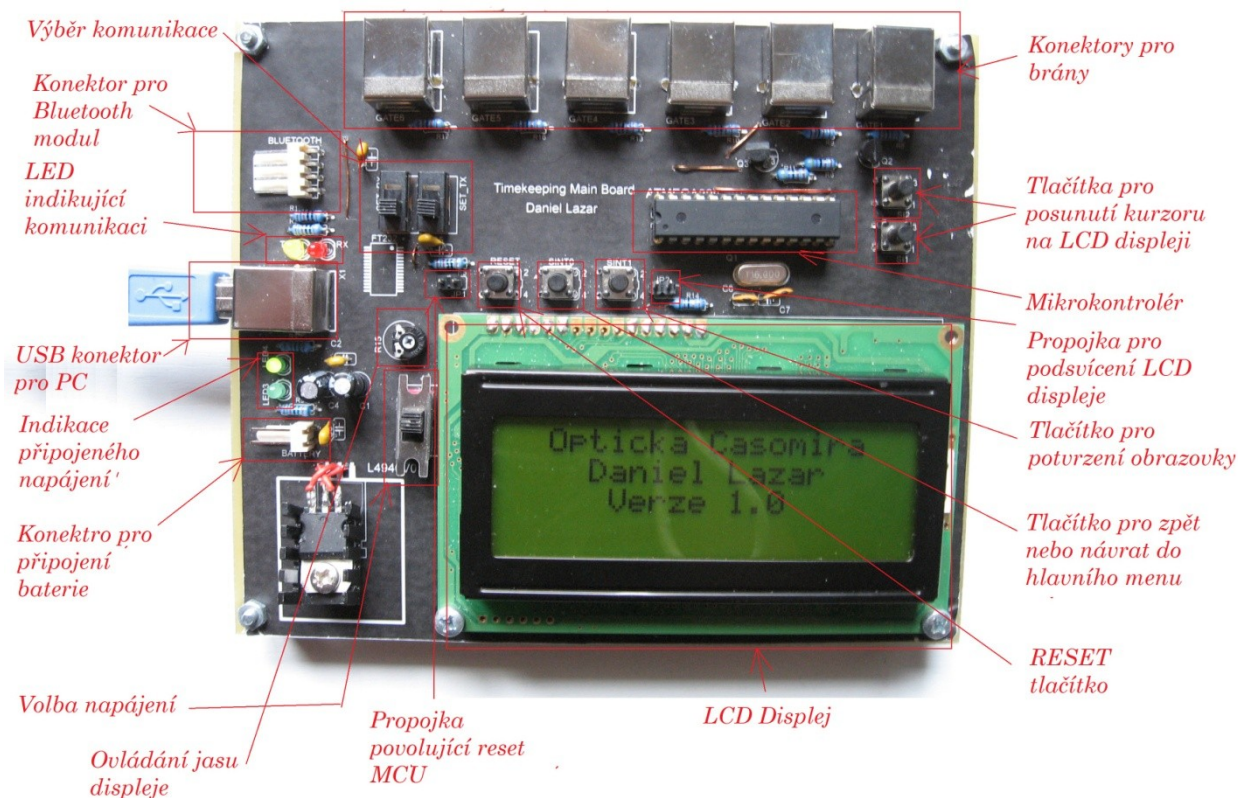
Značení	Hodnota	Pouzdro (název)	Popis
JP1	XINYA	PSH03-03WG	Konektor
GATE	CONNFLY	USB1X90B PCB	USB konektor
Q1,Q2,Q3	NPN	TO92 / BC547A	Tranzistory
R1	1K	0207	Odpor
R2	470K	0207	Odpor
R3	10K	0207	Odpor
R4	100R	0207	Odpor
R5	2K2	0207	Odpor
LED1	Zelená 2,2V/20mA	LED 5MM 02GT	Indikační LED
PHOTOTRANZISTOR	940nm/30°	L-53P3BT	Fototranzistor

Vysílač

Značení	Hodnota	Pouzdro (název)	Popis
JP1	XINYA	PSH03-03WG	Konektor
R2	1K	0207	Odpor
R1	15R	0207	Odpor
T1	NPN	TO92/MPSA06	Tranzistor
LED1	950nm/10°/1,4V/100mA	5 mm L-TSAL6100	IR dioda

D. Fotodokumentace Optického časoměrného systému

Obrázek centrální jednotky a popis součástek.



Obrázek vysílače a přijímače infračervené závery.



E. Ukázka instrukcí ve vývojovém prostředí Arduino

V příloze jsou popsány pouze základní instrukce, pomocí kterých je naprogramován MCU časomíry.

Přidání knihoven

```
#include <TimerOne.h>           //knihovna pro časovače  
#include <LiquidCrystal.h>      //knihovna pro LCD displej
```

Založení objektu LCD

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 6, 5, 4); //nastavení pinů, ke kterým je připojen LCD
```

Před začátkem programu (void setup)

```
lcd.begin (20,4);                //deklarace LCD displeje, 20 znaků na řádek a 4 řádky  
  
pinMode(„číslo pinu“,OUTPUT)    //nastavení pinu jako výstupní  
pinMode(„číslo pinu“,INPUT_PULLUP) //nastavení pinu jako vstup pomocí pull-up rezistoru  
  
Timer1.initialize(2500);         //periodické přerušení každých 2500 us  
Timer1.attachInterrupt(blinkLED); //každých 2500 us zavolá funkci blinkLED  
  
Serial.begin(115200);            //nastavení seriové komunikace, baudrate=115200
```

Instrukce pro ovládání LCD

```
lcd.setCursor(0,1);              //nastavení kursoru na druhý řádek LCD  
lcd.print("");                  //tisk textu na LCD  
lcd.print(i);                   //tisk hodnoty v proměnné i na LCD  
lcd.clear();                    //vyčištění LCD
```

Instrukce pro ovládání digitálních pinů

```
digitalWrite(„číslo pinu“,HIGH); //zápis logické 1 na číslo pinu  
digitalRead(„číslo pinu“);        //zjistí stav logické 0 nebo 1 na pinu
```

Instrukce pro komunikaci po sériové

```
Serial.print("");               //zápis textu na sériovou linku  
Serial.println("");             //zápis textu na sériovou linku + znak \n (enter)  
Serial.print(i);                //zápis obsahu proměnné i na sériovou linku  
Serial.write("");               //zápis znaku na sériovou linku  
Serial.available("");           //vrací číslo, kolik byte je nepřečteno v zásobníku
```

Serail.read(); //přečte jeden byte ze zásobníku sériové linky

Práce s reálným čítačem MCU

millis(); //vrací 32-bitové číslo s počtem ms od spuštění MCU

micros(); //vrací 32-bitové číslo s počtem us od spuštění MCU

Samozřejmě jako další instrukce jsou použity příkazy v klasickém jazyce C (deklarace proměnných, předpisy funkcí, ukazatelé apod).